

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Оцінка пристосованості автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації»

Виконав: студент VI курсу групи Ат-61

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Арсен Сулима

(ім'я та прізвище)

Керівник: Олег Миронюк

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 629.02

Сулима А. А. Оцінка пристосованості автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 77 с.

Табл. 4; рис. 8; бібліогр. джерел 30.

Розкрито особливості експлуатації автомобільних шин за низьких температур. З'ясовано основні фактори, що впливають на коефіцієнт опору коченню шин. Встановлено, що збільшення витрати пального під час експлуатації автомобілів в зимових умовах пов'язано із збільшенням опору коченню шин. Основним параметром, що здійснює такий вплив є температура навколишнього повітря.

Проведена оцінка пристосовуваності автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації за опором коченню. Встановлені раціональні інтервали складності низькотемпературних умов експлуатації та рівнів пристосованості автомобільних шин.

Експериментально досліджений вплив низьких температур навколишнього повітря на коефіцієнт опору коченню шин, що описується однофакторною математичною моделлю. На основі експериментальних досліджень визначено чисельні значення параметрів встановленої моделі для досліджених автомобільних шин та доведено її адекватність.

Запропоновані шляхи практичного використання результатів дослідження. Розроблено Методику диференційованого коригування норм витрати палива автомобілями залежно від пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	8
1.1 Особливості експлуатації автомобільних шин за низькотемпературних умов	8
1.2 Коефіцієнт опору коченню автомобільних шин.....	12
1.3 Основні фактори, що впливають на опір коченню шин	15
1.4 Класифікація автомобільних шин	22
1.5 Вплив коефіцієнта опору коченню на витрату палива автомобіля .	28
Висновки до розділу	31
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
2.1 Модель формування витрати палива під впливом характеристик шин, що використовуються за низьких температур навколишнього повітря.....	32
2.2 Оцінка пристосовуваності автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації за опором коченню.....	35
2.2.1 Встановлення раціональних інтервалів складності низькотемпературних умов експлуатації та рівнів пристосованості.....	36
2.2.2 Визначення інформативних характеристик автомобільних шин за ступенем впливу на пристосованість шин до низькотемпературних умов експлуатації	38
Висновки до розділу	37
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ	42
3.1 Загальна методика експериментальних досліджень	42
3.2 Розрахунок коефіцієнта опору коченню шин та витрати палива автомобіля	43
3.3 Вплив низькотемпературних умов експлуатації автомобільних шин на коефіцієнт опору коченню	45
3.4 Визначення рівнів пристосованості	48
3.5 Класифікація автомобільних шин за рівнями пристосованості.....	49

Висновок до розділу	45
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
4.1 Вимоги до виробничої санітарії і промислової гігієни під час технічного обслуговування і ремонту автомобілів.....	51
4.2 Розробка логічно-імітаційної моделі виникнення травм на виробництві	53
4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	57
Висновки до розділу	58
5 ШЛЯХИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ.....	59
5.1 Шляхи практичного використання результатів.....	59
5.2 Розрахунок нормованого значення витрати палива автомобілів, що експлуатуються в негативному діапазоні температур навколишнього повітря, з урахуванням коригувального диференційованого коефіцієнта	61
5.3 Методика диференційованого коригування витрати пального.....	69
5.4 Розрахунок економічної ефективності впровадження результатів дослідження	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТОК	68

ВСТУП

У сучасних умовах на автомобільному транспорті особливо актуальною є проблема економної експлуатації автомобілів. Велика кількість автомобілів в Україні у зимовий період працює за низьких температур навколишнього повітря, що істотно впливає на експлуатаційні витрати.

Під впливом низьких температур навколишнього повітря суттєво змінюється витрата палива, що пояснюється підвищенням опору руху. Втрати на кочення шин становлять значну частку у загальному балансі опору руху автомобіля.

Проведеними раніше дослідженнями встановлено, що на опір рухові автомобіля впливають як температура навколишнього повітря, так і конструктивні особливості шин. Особливо це проявляється у зимових умовах. У той самий час ступінь зміни коефіцієнта опору коченню в зимових умовах різна щодо різних типів шин і визначається рівнем їх пристосованості.

Закономірності зміни коефіцієнта опору коченню в низькотемпературних умовах експлуатації стосовно шин різних типів досліджено недостатньо. Методика нормування витрати палива автомобілів, що діє на даний час, не враховує вплив характеристик шин, що використовуються, на зміну витрати палива, що перешкоджає об'єктивному нормуванню та розробці науково обґрунтованого вирішення проблеми підвищення ефективності використання автомобілів.

Таким чином, для підвищення ефективності використання автомобілів взимку необхідна об'єктивна оцінка пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації за коефіцієнтом опору коченню. Тому кваліфікаційна робота, яка присвячена впливу низькотемпературних умов експлуатації автомобілів на опір коченню автомобільних шин, є актуальною.

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації автомобілів шляхом встановлення та практичного використання закономірностей впливу низьких температур навколишнього повітря на опір коченню.

Об'єкт дослідження – процес зміни коефіцієнта опору коченню шин під час їх експлуатації за умов низьких температур навколишнього повітря, а предмет дослідження – цей процес стосовно шин конкретних типів.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Особливості експлуатації автомобільних шин за низькотемпературних умов

Відповідно до проведених досліджень [1, 2, 12, 16, 19] встановлено, що витрата палива автомобілями збільшується під час експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря. Збільшення витрати палива [26] може становити 10...30 %. Це пояснюється збільшенням сил опору коченню шин, аеродинамічного опору повітря та інших сил опору руху автомобіля.

Дослідження [17] показали, що витрата палива на чистому від снігу цементобетонному покритті зростає під час використання зимових шин на 7-9%, ніж у випадку використання звичайних шин.

Умови експлуатації представляють собою сукупність факторів, які мають різний характер. Відмінність цих факторів полягає у різному механізмі їхнього впливу на шини. До факторів умов експлуатації належать [1]: дорожні та транспортні умови, організація роботи рухомого складу, природно-кліматичні умови тощо.

Природно-кліматичні умови характеризуються [20] температурою навколишнього повітря, швидкістю вітру, атмосферним тиском, рівнем сонячної радіації, кількістю атмосферних опадів, тривалістю зимового періоду та іншими факторами. Особливе значення для експлуатації автомобільних шин має зміна температури навколишнього середовища, що впливає як через зміну теплового стану шин (зміна температури повітря спричиняє зміну температури шини), так само і через зміну дорожніх умов експлуатації. Наприклад, зледеніння дорожнього полотна із зниженням температури та переходом через 0 °C впливає на режим руху автомобілів.

Оскільки показники багатьох кліматичних умов є найрізноманітнішими, необхідно виділити незалежні один від одного фактори, які мають найбільший вплив на ефективність роботи автомобільних шин. Для характеристики

зміни показників якості автомобільних шин під впливом кліматичних факторів достатньо використати один показник – температуру навколишнього повітря [7].

Низька температура повітря впливає на матеріали деталей автомобіля і викликає зміну фізико-механічних властивостей матеріалу шин [11]. Під час стоянки автомобілів за низьких температур на шинах з'являються залишкові деформації, втрачаються еластичність, пружність, і на їх поверхні утворюються тріщини, а за умови дії нижчих температур (мінус 30 і нижче) спостерігається склоподібний стан гуми, що викликає підвищену крихкість та їх руйнування під час навантаження без попереднього розігріву.

Експлуатаційні якості визначаються фізико-механічними характеристиками сумішей полімерів, що використовуються у протекторі. Еластичність суміші за низьких температур визначається "точкою переходу в склоподібний стан", а міцність протектора при температурах близько 60 °С визначається "точкою плавлення". У той же час вплив умов експлуатації на морозостійкість автомобільних шин неоднозначна і залежить від складу гумової суміші.

Гумова суміш протектора має бути такою, щоб зберігати гнучкість навіть на сильному морозі. У випадку появи відлиги шина має бути придатною для використання на мокрій дорозі. У той самий час оптимізація однієї певної характеристики погіршує інші ознаки якості. Наприклад, опір коченню шини та її зчеплення з мокрою дорогою є конфліктними цілями, тобто критеріями, одночасна оптимізація яких виключається [6].

Незважаючи на велику кількість робіт, присвячених впливу низьких температур на витрату палива автомобілем, сучасні ринкові вимоги ефективності їх роботи у низькотемпературних умовах чекають на подальший розвиток наукових основ цієї проблеми. Ознакою наукового підходу вирішення проблеми є закономірності. Це викликає необхідність встановлення закономірності впливу низькотемпературних умов на величину зміни витрати палива, обумовлену підвищенням опору коченню шин.

Встановлення цих закономірностей ґрунтується на тому положенні, що вплив низьких температур навколишнього повітря на коефіцієнт опору ковчненню шин залежить від рівня їх пристосованості до цих складних умов. Чим вищий рівень пристосованості, тим менший вплив складності. Таким чином, ці закономірності повинні містити кількісні оцінки складності та кількісні оцінки пристосованості шин до цієї низькотемпературної складності. І тому знадобиться чітке визначення понять “складність” і “пристосованість”.

Сутність складності умов експлуатації виходить із порівняння зі стандартними (нормальними) умовами, яким відповідають нормальні (паспортні) показники якості та ефективності шин.

Складність – це особливість умов експлуатації, що полягає в їхньому відхиленні від стандартних (оптимальних) умов.

Пристосованість – це властивість автомобіля або автомобільних шин зберігати показники ефективності та якості на номінальному рівні за умов експлуатації, відмінних від стандартних (оптимальних).

Виходячи з цього формулювання для кількісної оцінки складності умов експлуатації запропоновано індекс складності, позначений через h (від першої літери англійського слова "hardness" – "суворість"). Він є кількісним показником ступеня відмінності складних умов експлуатації від стандартних.

Очевидно, що складність низькотемпературних умов зручно характеризувати за допомогою одиниці вимірювання температури, наприклад, °C. Разом з тим, умови експлуатації автомобільних шин є сукупністю факторів різної природи. Тобто це не тільки температура навколишнього повітря, а й вітер, і атмосферний тиск, і багато інших. Очевидно, що ці фактори, маючи різну природу, мають різний механізм впливу на шини. Тому зіставляти, порівнювати, враховувати в сукупності, агрегувати складність різних факторів можна тоді, коли, по-перше, різні фактори матимуть показники складності з однаковою розмірністю; по-друге, коли складність різних факторів оцінюватиметься за тією ж шкалою.

Вирішення проблеми різних розмірностей для різних факторів може бути досягнуто запровадженням безрозмірних балів складності. Розробленим вимогам до індексу складності h відповідає універсальна шкала складності. Чим більше балів має фактор, тим він суворіший, а чим менше балів, тим суворість менша. Найбільш можливе відхилення значення фактора від стандартного відповідає максимальному значенню індексу складності цього фактора h_{max} . Наприклад, якщо вважати, що найбільш можливе відхилення температури навколишнього повітря дорівнює мінус 50 °С, то це відповідає h_{max} . Це значення температури повітря для північних країн є найнижчим (строго кажучи, мінімально можливе значення може бути нижчим, але з дуже малою ймовірністю).

Вочевидь, що у нормальних для даних шин умовах складність відсутня, тобто індекс складності дорівнює нулю. Таким чином, значення індексу складності може мати значення від $h = 0$ (відповідає стандартному значенню фактора x_{st}) до h_{max} (відповідає найбільшому можливному відхиленню значення фактора від його стандартного значення, тобто відповідає $x_{max} - x_{st}$). Причому інтервал складності однаковий у балах для різних факторів. Це забезпечується тим, що максимальне значення індексу складності h_{max} для всіх змінних факторів приймається однаковим і рівним $12R$, де R – універсальна одиниця виміру складності. Слід наголосити, що складність, виражена в безрозмірних балах R , не дорівнює, а відповідає певним значенням складності того чи іншого фактора. Шкала складності для будь-якого фактора однакова і має такі межі:

$$0 < h < 12R.$$

Таким чином, низькотемпературні умови експлуатації можуть оцінюватися за дванадцяти бальною шкалою складності.

Значення показника пристосованості визначається для кожного інтервалу складності. Як показник пристосованості може використовуватися коефі-

цієнт пристосованості, який показує, у скільки разів значення показника y в даних умовах відрізняється від свого номінального значення y_n :

$$K = \frac{y}{y_n}. \quad (1.1)$$

Чим ближче значення K до одиниці, тим краща пристосованість. Значення y , y_n можуть бути визначені з відповідної типової моделі пристосованості шляхом підстановки в неї значення фактора x , що відповідає даним умовам, і його значення в оптимальних умовах.

Виходячи з характеру описуваних типовими моделями пристосованості закономірностей, вони поділяються на три класи: адитивні, мультиплікативні та симетрично різницеві. Кожен із класів ділиться на два типи: відповідно лінійні та квадратичні, експоненціальні та нормальні, коекспоненційні та конормальні. Визначення класу і типу моделей, а також чисельних значень параметрів, що входять до них, проводиться за стандартними програмами.

1.2 Коефіцієнт опору коченню автомобільних шин

Автомобільна шина має практично нескінченну кількість властивостей, що складають в цілому її якість. З цієї кількості властивостей, необхідно виділити лише ті, що характеризують властивість паливної економічності автотransпортного засобу.

Під паливною економічністю розуміється здатність автомобіля виконувати транспортну роботу чи перевезення пасажирів з мінімально можливими витратами палива за строго певних умов [5].

У ДСТУ 2220-93 “Система показників якості продукції. Шини...” наведений розділ показників призначення, куди входять основні характеристики шини, які визначають, або від яких суттєво залежать експлуатаційні властивості автотransпортного засобу. Зокрема, такому показнику як коефіцієнт

опору коченню шини відповідає властивість транспортного засобу – паливна економічність.

У той же час коефіцієнт опору коченню, виміряний під час кочення шини у веденому режимі з постійною швидкістю по гладкій опорній поверхні, не може повністю визначити втрати на кочення в реальних режимах руху.

Додатково повинні враховуватися такі показники [9]:

- коефіцієнт опору бічному відведенню шини (рух по криволінійній траєкторії);

- коефіцієнт тангенціальної еластичності шини (рух зі змінною швидкістю, підйоми, спуски);

- коефіцієнт нормального демпфування шини (рух нерівною дорогою).

Опір кочення є однією з найважливіших характеристик шини, оскільки в значній мірі визначає витрату потужності на рух автомобіля, витрату палива і, певною мірою, довговічність самої шини [1, 11, 16]. Серед інших характеристик коефіцієнт опору кочення є величиною, що характеризує опір кочення колеса.

Коефіцієнт опору коченню колеса [25] – умовна кількісна характеристика опору коченню колеса, що дорівнює відношенню сили опору коченню колеса P_f до його нормального навантаження P_z :

$$f = \frac{P_f}{P_z}. \quad (1.2)$$

Коефіцієнт опору коченню змінюється у межах: від 0,007...0,012 на асфальтобетонному чи цементобетонному покритті у доброму стані до 0,15...0,3 на сухому піску.

Опір коченню колеса можна характеризувати різними показниками. До цих показників відносяться потужність, момент, сила та коефіцієнт опору коченню. Так, наприклад, для визначення потужності, необхідної для руху колісної машини, потрібно знати потужності всіх видів опорів, у тому числі потужність опорів коченню всіх коліс. Проте порівнювати між собою або оці-

нювати досконалість конструкцій шин за мінімумом втрат за умови використання різних шин, призначених для різних машин, можна лише за безрозмірною величиною. Характеристики опору коченню колеса можна визначати двома шляхами. Перший полягає у розкритті внутрішніх зв'язків та явищ, фізичних процесів, що відбуваються під час кочення еластичного колеса по твердій або деформівній поверхні. Другий шлях заснований на дослідженні залежностей між силовими та швидкісними факторами, отриманими під час спільного розв'язання рівнянь силової рівноваги та потужнісного балансу колеса. Незважаючи на те, що на даний час ще немає вичерпного вирішення завдання суто аналітичного визначення втрат на опір коченню еластичного колеса навіть по твердій опорній поверхні, заснованого на аналізі фізичних явищ, що відбуваються в колесі, перший шлях краще другого. Під час вирішення другим шляхом доводиться використовувати деякі фіктивні величини.

Загальний коефіцієнт опору коченню визначається експериментально [17]. У супровідній технічній документації на партії шин та іншій технічній документації на партії шин, звітах з випробувань шин, технічних завданнях та іншої документації виробників та споживачів шин має наводитися значення коефіцієнта опору коченню (фактично не виконується).

Зниження опору коченню забезпечує необхідні тягово-швидкісні якості за меншої потужності двигуна і витрати палива або підвищує прискорення і максимальну швидкість автомобіля [16].

У США запропоновано наступний спосіб маркування шин, що ґрунтується на коефіцієнті опору [30]:

- індекс витрати палива А для шин із коефіцієнтом опору коченню менше 0,01;
- індекс витрати палива В для шин з коефіцієнтом опору коченню від 0,01 до 0,015;
- індекс витрати палива С для шин з коефіцієнтом опору коченню більше 0,015.

Незважаючи на відмінність функцій, що виконуються ведучим, веденим та гальмівним колесами, втрати на їх кочення доцільно оцінювати однаково, тобто коефіцієнтом опору коченню [25, 28].

1.3 Основні фактори, що впливають на опір коченню шин

Під час експлуатації на автомобільну шину впливає багато чинників. Складність вивчення впливу на опір коченню всього різноманіття чинників полягає у їх взаємодії одного з одним. Опір коченню в реальних умовах експлуатації може зростати більш, ніж у 2 рази [19].

Дослідники [3, 9, 12, 14, 19] називають фактори, що впливають на опір коченню: конструкція і матеріал шини, обода, точність їх виготовлення, а також температура, знос протектора, кути встановлення коліс, швидкість руху, тиск повітря в шині, величини прикладених до колеса зовнішніх сил та від дорожніх умов.

Запропоновано розділити перелік чинників, що впливають на опір коченню шин на дві групи [1]: структура шини (конструкція та матеріали) та її умови експлуатації (стан дорожнього покриття, тиск повітря в шині, швидкість, температура тощо).

Опір коченню, що є результатом взаємодії еластичних шин з поверхнею дороги, залежить від таких факторів [23]:

- конструкції дорожнього одягу, матеріалу та стану покриття;
- швидкості руху і крутного моменту, що передається до коліс;
- конструкції шин, їхнього матеріалу, форми бігової доріжки, тиску повітря в шинах, навантаження на них;
- поздовжнього та поперечного ковзання шин, викликаного передачею тангенціальних та бігових сил;
- коливання шин та осей.

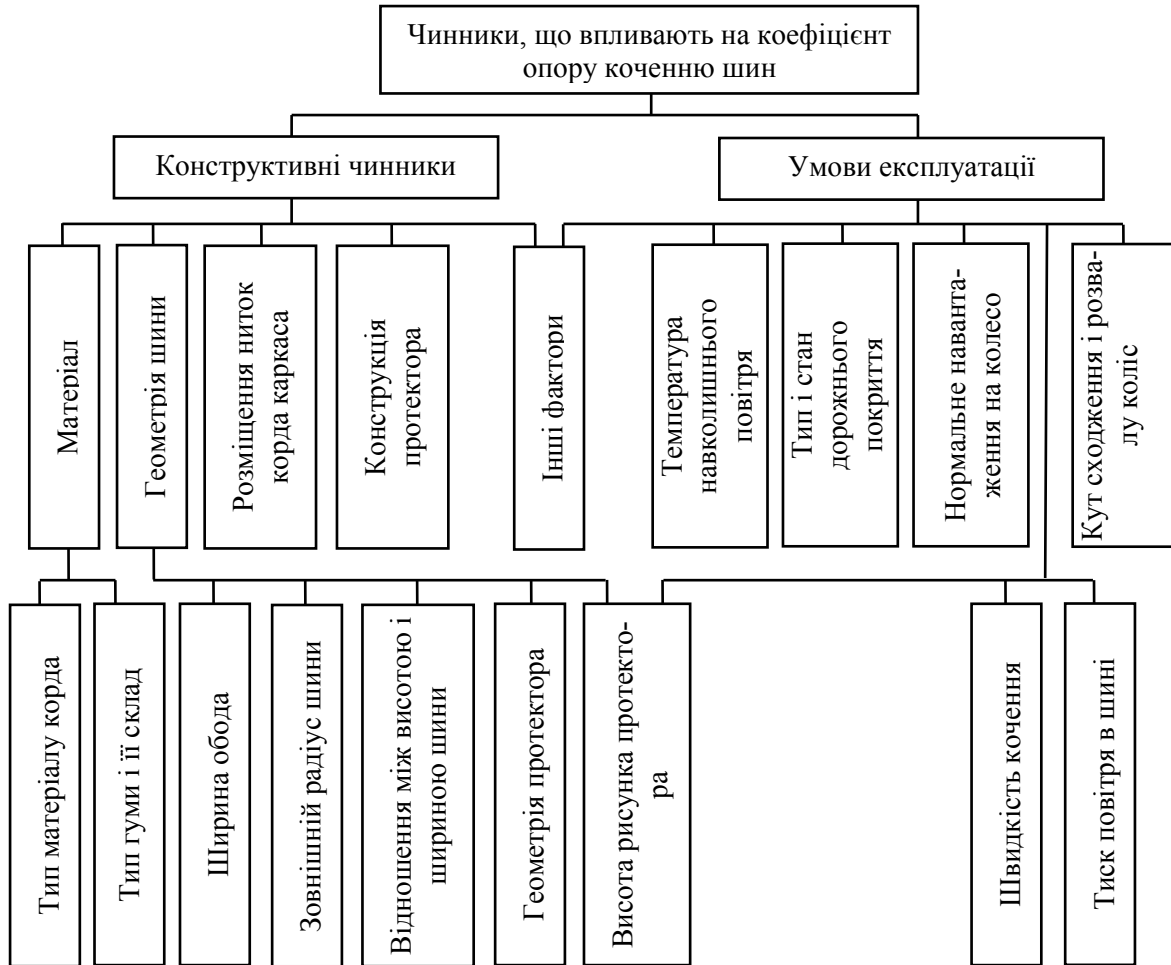


Рисунок 1.1 – Чинники, що впливають на коефіцієнт опору коченню

Для шин певної моделі та доріг з твердим покриттям завдання оцінки впливу цих факторів на коефіцієнт опору коченню дещо спрощується і в першому наближенні зводиться до врахування впливу швидкості, навантаження та нерівностей поверхні дороги.

Рядом досліджень встановлено [7, 9], що на коефіцієнт опору коченню істотно впливає як температура самої шини, так і температура навколишнього повітря.

Згідно [21], за температури плюс 23 °С шина може мати втричі менший опір коченню, ніж за мінус 7 °С.

Дослідженнями [7] встановлено, що із підвищенням температури шини коефіцієнт опору коченню зменшується, причому інтенсивність цього зменшення з ростом температури різко падає.

Температура шини впливає на опір коченню подвійно: зміною температури повітря в порожнині шини, а отже, змінюючи тиск повітря в шині; зміною еластичності та гістерезису гумових компонентів. Із зміною температури шини від мінус 20 до 50 °С коефіцієнт опору коченню зменшується в 2 - 3 рази.

Дані досліджень [2, 11] показують, що із зниженням температури від 20 °С до мінус 40 °С коефіцієнт опору коченню збільшується в діапазоні від 21 до 63 % для шин вантажного автомобіля, а також встановлений експоненціальний характер залежності коефіцієнта опору коченню шин автомобіля від температури повітря.

Вплив температури навколишнього повітря на опір коченню шини був вивчений Firestone Tire & Rubber. Результати показали, що початковий опір коченню при мінус 20 °С може більш, ніж удвічі перевищувати значення при температурі 40 °С.

За даними Narasimha Rao [30], втрати енергії на опір коченню зменшуються на 0,5-1 % на кожний 1 °С збільшення температури навколишнього повітря (в інтервалі від плюс 20 °С до плюс 40 °С).

Конструкція шини також суттєво впливає на її опір коченню. Дослідження [9] вказують на те, що товщина протектора та боковин, а також кількість шарів у карасі призводять до зміни опору коченню, оскільки змінюється величина гістерезисних втрат. Причому для будь-якої заданої товщини гуми між шарами існує оптимальна, з точки зору опору коченню, товщина гуми між нитками корду та відношення ширини обода до ширини шини. Відхилення у той чи інший бік призводить до підвищення втрат на кочення.

Радіус шини та відношення величини Н/В (Н – висота профілю; В – номінальна ширина профілю [29]) впливають на опір коченню. Опір коченню може зменшуватися зі збільшенням радіуса та зменшенням відношення Н/В [1]. Зі зменшенням Н/В коефіцієнт опору руху зменшується [16]. Зміна відношення висоти профілю до ширини профілю шини в межах 0,65 – 0,85 під-

вищує опір коченню приблизно на 2% від його оптимального значення, що відповідає для сучасних радіальних шин 0,72 – 0,76. Зміна відношення висоти профілю до ширини профілю шини до 0,65 у бік зменшення і до 0,86 у бік збільшення підвищує цей опір приблизно на 2% від його оптимального значення [16].

Протектор більшого перерізу розрахований на більший пробіг, проте збільшує вагу шини, підвищує опір коченню, збільшує момент інерції колеса та нагрівання шини [8].

Гістерезисні характеристики матеріалів шини також роблять внесок у опір коченню. Отримано експериментальні дані [8] цих характеристик для різних шин у різних умовах експлуатації та виявлено комплекс залежностей між різними конструктивними особливостями та умовами експлуатації. Опір коченню шини на рівній горизонтальній дорозі збільшується на величину в межах 10% порівняно зі значенням, отриманим на випробувальному барабані. Залежно від товщини протектора опір коченню змінюється в межах 50 % [24].

Шини, виготовлені із синтетичних каучукових компонентів, зазвичай мають більший опір коченню, ніж аналогічні з натурального каучуку.

Значна частка опору коченню шини (60-70 %) припадає на протектор, а приблизно 7 % потужності двигуна витрачається на його подолання. Для протекторів на основі натурального, бутадієн-стирольного та СКД каучука зниження опору коченню, та їх стирання супроводжується погіршенням зчеплення із мокрим дорожнім покриттям. Збільшення стереорегулярності полібутадієнового каучуку різко знижує морозостійкість гум, але веде до збільшення міцності, зносостійкості, втомної витривалості. При цьому зменшуються втрати на кочення, а на зчеплення з мокрою дорогою навпаки збільшуються. Підбираючи склад гумових сумішей, можна мінімізувати ковзання та гістерезис, що призведе до зменшення опору коченню шини, а значить до зниження витрати палива. Найбільший вплив на опір коченню має протектор

шини (75%), менший – боковина (10%) і плечова зона (10%), і найменший – борт (5%) [9].

Коефіцієнт опору коченню зростає зі збільшенням висоти ґрунтозачепів шин [11].

Застосування матеріалів, що володіють малим внутрішнім тертям, зменшення жорсткості кордної тканини та числа її шарів, полегшення протектора та інші конструктивні заходи значно знижують гістерезисні втрати в шинах [28].

З факторів, що характеризують режим руху шин, основний вплив на коефіцієнт опору коченню має швидкість руху, а також діючі на колеса навантаження і бічна сила [28].

Опір коченню практично збільшується лише зі швидкостей кочення більше 50 км/год, причому особливо інтенсивно при швидкостях понад 100 км/год. При зростанні швидкості руху понад 50 км/год величина коефіцієнта опору коченню суттєво збільшується внаслідок зростання втрат у шині на тертя [8].

Для швидкостей до 50 км/год коефіцієнт опору коченню вважають незмінним. Згідно з даними випробувань шин на барабанному стенді [24], майже не впливає на опір коченню швидкість руху (менше 2%).

Таким чином, коефіцієнт опору коченню зі збільшенням швидкості автомобіля зростає при швидкостях руху понад 50 км/год (рис. 1.2).

При номінальних навантаженнях на колесо і тиску повітря в шині зростання коефіцієнта опору коченню стає помітним при $V = 15...20$ м/с [4]. Опір коченню шини має особливо сильний вплив на витрату палива в нижньому та середньому діапазоні швидкостей, зі 100 км/год найвагомим стає лобовий опір повітря [18].

Рядом досліджень [4, 14] встановлено, що до значного збільшення опору коченню призводить зменшення тиску повітря в шинах.

Збільшення опору коченню зі зниженням тиску негативно позначається на паливній економічності автомобіля [2].

Згідно з дослідженнями [17], на середніх швидкостях руху, 90% опору коченню припадає на гістерезис матеріалів, 8% на поверхневе тертя і 2% викликано опором повітря. Типові значення коефіцієнта опору коченню для легкових автомобілів становлять від 0,01 до 0,025. Головною складовою опору кочення є гістерезисні втрати.

На різних дорогах коефіцієнт опору коченню різною мірою залежить від тиску повітря у шині [4]. На дорогах з твердим покриттям він зменшується зі збільшенням тиску, досягаючи мінімального значення при тиску, близькому до рекомендованого для цієї шини. При надмірному тиску зростають динамічні навантаження, що виникають у результаті взаємодії колеса з нерівностями дороги, що може призвести до деякого зростання коефіцієнта опору коченню. У свою чергу, якщо шина накачана за певної температури, то зміна температури викликає зміну тиску повітря в шині.

Матеріал та конструкція шини суттєво впливають на втрати енергії під час кочення шини [23]. Матеріал корду в боковинах не такий важливий як матеріал протектора, але кут корда значно впливає на опір коченню. Так, діагональні та радіальні шини мають різні властивості [21].

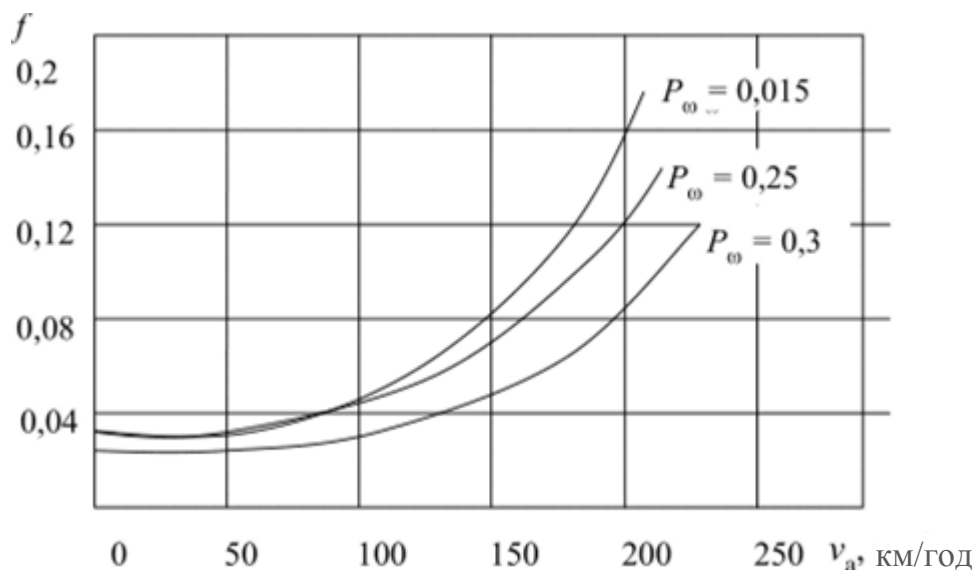


Рисунок 1.2 – Залежність коефіцієнта опору коченню від швидкості

В університеті м. Мічіган проведені дослідження величини паливної економічності з використанням комп'ютерної моделі. Порівняно з шинами, що мають низькі індекси швидкості (S, T), шини з найвищими індексами (W, Y, Z) мають на 10 – 22 % вищий коефіцієнт опору коченню, тоді як шини з середніми індексами швидкості (H, V) мають на 1 – 9 % вищий коефіцієнт опору коченню.

На стадії експлуатації крім зниження опору коченню, висувуються вимоги стосовно підвищення зчеплення шин з мокрою та зледенілою дорогою. Причому суть взаємозв'язків у так званому "магічному трикутнику" полягає в тому [6], що під час розробки рецептури гуми для протектора, поліпшення однієї або двох експлуатаційних властивостей неминуче призводить до зниження рівня третьої властивості.

Такі властивості шин, як зносостійкість, зчеплення з мокрою дорогою і особливо опір коченню залежать переважно від складу протекторної гуми.

Слід наголосити на суперечливих вимогах автовиробників, з якими доводиться стикатися розробникам шин:

- керованість, зчеплення на сухому та мокрому дорожньому покритті;
- опір коченню;
- зносостійкість;
- комфортабельність їзди;
- шумоутворення.

Проте, як показує аналіз динаміки вимог до експлуатаційних властивостей шин, раціонально сконструйована шина повинна мати малий опір коченню [16].

Можливі шляхи вирішення проблеми розробки шин із низьким опором коченню [16]: створення низькопрофільних шин; підвищення тиску у шині; зменшення ваги; нові конструкторські рішення; нові матеріали.

1.4 Класифікація автомобільних шин

Шини – невід'ємний елемент автомобіля, в значній мірі визначаючий рівень його експлуатаційних властивостей та ефективність використання [5].

Відповідно до нормативно-технічної документації, існують наступні визначення стосовно шин.

Категорії використання [19] шини – звичайна літня (дорожня), зимова або для тимчасового використання.

Маркування зимових шин – наносяться латинські літери M і S, або знак * (сніжинка).

Маркування всесезонних – All season.

Маркування зимових нешипованих – studless.

Шини рекомендується експлуатувати:

дорожні – на дорогах із удосконаленим капітальним покриттям (I, II та III категорій);

зимові – на обледенілих та засніжених дорогах;

всесезонні – на дорогах, аналогічних для дорожніх, універсальних та зимових шин.

Стандартом [10] встановлюються позначення, розміри, номінальні навантаження та маркування для шин легкових автомобілів. Маркування на боковині шини має містити такі позначення: розміру та конструкції (номінальна ширина профілю, номінальне відношення висоти профілю до його ширини, код конструкції шини, код номінального діаметра обода), експлуатаційні характеристики (індекс навантаження, категорія швидкості, тип герметизації та ін.).

Проте, у цьому документі зазначається, що на даний час у різних країнах продаються шини радіальної конструкції, маркування яких не відповідає точному маркуванню, наведеному в стандарті. Справді, у вибірці випробува-

них шин є екземпляри з неповним маркуванням (наприклад: Dunlop LM - 701, Ice Guard IG - 20 Йокогама, Ice Cruiser 5000 Бріджстоун).

Виробництво шин характеризується великим асортиментом та кількістю найрізноманітніших матеріалів. Рецептатура лише однієї гумової суміші включає 15-18 інгредієнтів. Виробництво вантажної покритишки передбачає використання близько 10 різних гум для отримання окремих її деталей. Крім того, сама шина являє собою композиційний виріб, що включає багато інших матеріалів: інгредієнти гумових сумішей, корди текстильні і металеві, дріт і т.д. Фізико-механічні та фізико-хімічні властивості гум головним чином залежать від хімічної природи каучуків, з яких вони виготовлені. Використання синтетичних каучуків позбавляє недоліків, пов'язаних з натуральним походженням натуральних каучуків (сильна залежність властивостей від місця зростання каучуконосу, кліматичні особливості року). Зараз у світі налічується десятки сортів натурального каучуку, що відрізняються один від одного за багатьма показниками. Цей факт вносить певні труднощі у забезпечення стабільного рівня якості шин, що випускаються.

Згідно [19] автомобільні шини поділяються за призначенням, конструкцією, принципом герметизації, формою профілю, габаритами (рисунок 1.3).

Шини для легкових автомобілів призначені для експлуатації у всіх кліматичних зонах при температурі навколишнього середовища від мінус 45 до плюс 55 °С. У той же час, випускаються шини різного кліматичного виконання:

- шини для помірного клімату, що застосовуються за температури не нижче мінус 45 °С;

- морозостійкі шини, призначені для роботи в районах з температурою нижче мінус 45. Їх виготовляють із морозостійких матеріалів (“північне виконання”);

- шини для тропічного клімату (для високих температур до плюс 55 °С).

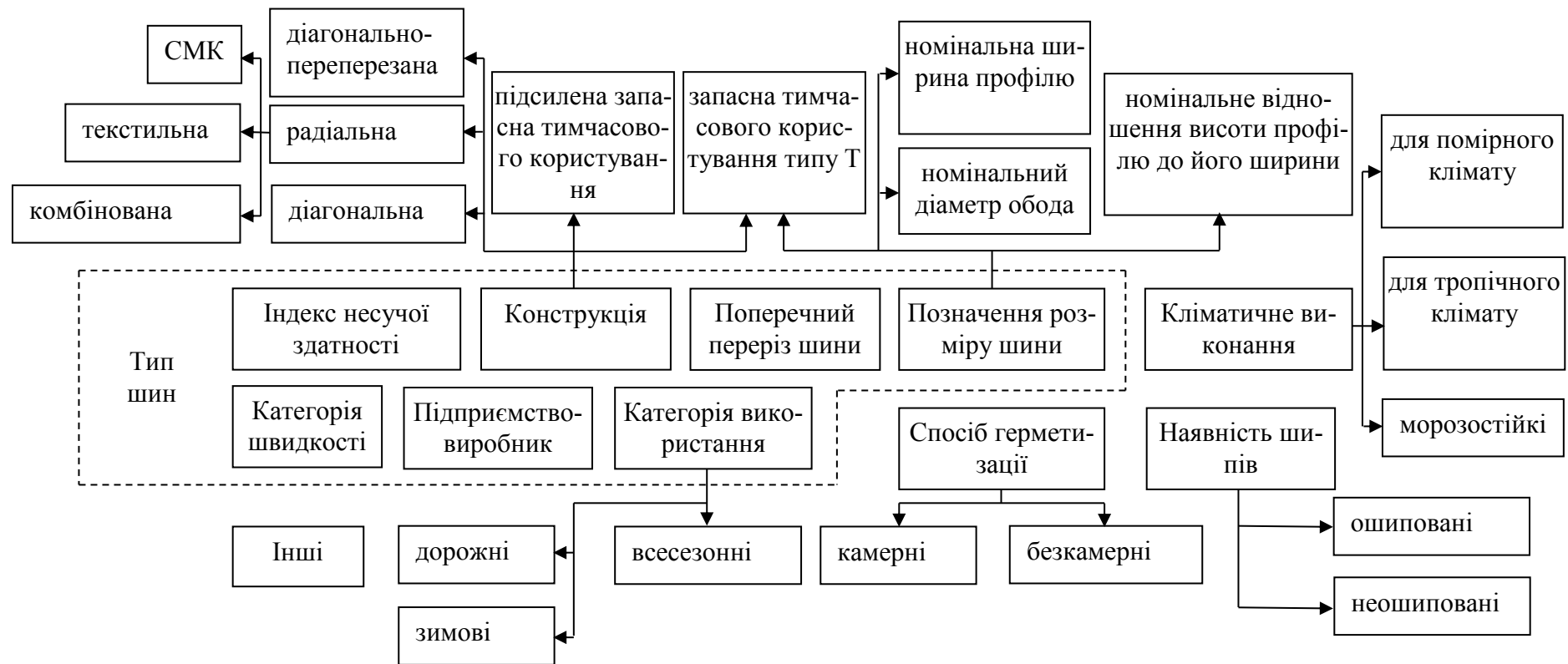


Рисунок 1.3 – Характеристики шин легкових автомобілів

Згідно [11], шини із зимовим (сніговим) рисунком без шипів і з шипами протиковзання призначені для роботи на засніжених та заледенілих дорогах. З цим пов'язаний їхній недолік – сезонність. Шини з всесезонним рисунком використовуються переважно на дорогах, де застосовуються шини із дорожнім, універсальним та зимовим рисунками протектора.

Також шини поділяються [29] на такі, що мають діагональну і радіальну конструкцію.

Шини радіальної конструкції [29] – у яких кут нахилу ниток корда каркаса 0° , а брекера – не менше 65° (в позначенні шини вказується індекс R). Такі шини мають каркас з меншою кількістю шарів корду, ніж у діагональних, потужний брекер (як правило, металокордний), що забезпечує меншу колову деформацію шини під час кочення та проковзування протектора в контакт з дорожнім покриттям, і, як наслідок, радіальні шини мають менше теплоутворення та втрати на кочення, більший термін служби, максимальне навантаження та допустиму швидкість руху [11].

Існує наступна градація радіальних шин, залежно від застосовуваних матеріалів у каркасі та брекері:

- тільки з металокордом у каркасі та брекері (СМК);
- з кордом із синтетичних волокон у каркасі та з металокордом у брекері;
- з кордом із синтетичних волокон у каркасі та брекері.

У виробництві автомобільних шин велике поширення набув металокорд [16], що застосовується для виготовлення каркаса і брекера, а також й інших деталей шини. Металокорд відзначається більш високою міцністю з малим подовженням порівняно з "текстильним", а також високою стійкістю до теплового старіння і підвищеною зносостійкістю протектора.

Відповідно до ДСТУ UN/ECE R 30-02:2005 (Правила ЄЕК ООН № 30) “Єдині приписи щодо офіційного затвердження шин для колісних транспортних засобів та їх причепів”, існують такі категорії використання шин – зви-

чайна (дорожня), зимова або для тимчасового використання. У той же час ДСТУ 8816:2018 "Шини пневматичні для легкових автомобілів, причепів до них, легких вантажних автомобілів та автобусів особливо малої місткості" дає поняття "всесезонної шини" – це шина дорожнього типу з більш розчленованими елементами, що дозволяють експлуатувати її в літній та зимові періоди.

Стандартом ДСТУ ISO 4000-1:2018 "Шини та ободи для легкових автомобілів" встановлюються позначення, розміри, номінальні навантаження та маркування шин легкових автомобілів. Маркування шини має містити такі позначення: розміру та конструкції (номінальна ширина профілю, номінальне відношення висоти профілю до його ширини, код конструкції шини, код номінального діаметра обода), експлуатаційних характеристик (індекс навантаження, індекс категорії швидкості, тип герметизації та ін.).

Залежно від призначення розрізняють шини: для легкових автомобілів та причепів до них, вантажних автомобілів малої вантажопідйомності, мікроавтобусів; для вантажних автомобілів та причепів до них, автобусів, тролейбусів.

Рисунок протектора шини, залежно від призначення, може бути:

- дорожній – для роботи переважно на дорогах із твердим покриттям;
- універсальний – для роботи на дорогах з твердим покриттям та по ґрунту;
- підвищеної прохідності – для роботи переважно по м'якому ґрунту, у тому числі спрямований (несиметричний) рисунок;
- зимовий (сніговий) без шипів або з металевими шипами – для роботи на засніжених та заледенілих дорогах;
- кар'єрний – для роботи в кар'єрах, на лісозаготівлях тощо.

Дорожні шини призначені для експлуатації на дорогах із вдосконалим покриттям. Універсальні шини володіють властивостями, що дозволяють експлуатувати їх на шосейних і ґрунтових дорогах. Шини підвищеної прохідності повинні експлуатуватися в умовах бездоріжжя та м'яких ґрунтів. Проте

не рекомендується тривале застосування цих шин на дорогах із твердим покриттям. Всесезонні шини забезпечують прийнятну реалізацію характеристик автомобіля впродовж цілорічної експлуатації по шосейним та ґрунтовим дорогам. Всі шини, навіть у межах одного типу, розрізняються за хімічним складом гуми, внутрішньою конструкцією та рисунком протектора. Це пов'язано з тим, що зробити "ідеальну" шину, яка б забезпечувала максимальну реалізацію характеристик автомобіля для всіх дорожніх умов, неможливо. Тому виробники випускають шини:

- з певною спеціалізацією, коли найбільш розвиненими є одна або дві властивості на шкоду іншим;

- з усередненими властивостями для забезпечення прийнятної реалізації характеристик автомобіля в широкому діапазоні дорожніх умов.

Застосування шин з рисунком протектора, що не відповідає конкретним умовам, призводить до зниження безпеки руху автомобіля, ресурсу шини, збільшення витрати палива, погіршення комфортабельності автомобіля [90].

Таким чином, для зимової експлуатації існують такі шини: нешиповані шини, зимові шини, призначені для шипування і всесезонні шини. Зимові шини, не призначені для шипування (нешиповані шини), розраховані на застосування в холодну пору року. Існує різновид цих шин, у яких зовнішній шар протектора виконаний з м'яких сортів гуми та розрізаний ламелями. Під ним розташована твердіша гума. На початку експлуатації шина є зимовою, далі, після зносу зовнішнього шару шину можна експлуатувати як літню. Тому цей різновид шин має два індикатори зносу – "зимовий" і "літній". Зимові шини, призначені для шипування, можуть бути шиповані та нешиповані. Вони виготовляються з гуми середньої жорсткості і мають розмічені місця для монтажу шипів, не розрізані ламелями, а також промарковані написом *studable* (шиповані). Всесезонні шини призначені для цілорічного застосування [21].

За способом герметизації розрізняють камерні шини і безкамерні [29]. У легкових автомобілів камерні шини складаються з покришки та камери. Безкамерна шина є покришкою, що має на внутрішній поверхні герметизуючий шар.

За конфігурацією профілю поперечного перерізу шини поділяються на: звичайні ($H/B > 0,89$); широкопрофільні ($H/B = 0,9...0,6$); низькопрофільні ($H/B = 0,88...0,7$); наднизькопрофільні ($0,5 < H/B < 0,7$); абочні ($H/B = 0,39...0,25$) [11, 29].

Найважливішими ознаками, за якими класифікуються шини: вид транспортних засобів для яких вони призначені, напрямок ниток корда в каркасі, спосіб герметизації внутрішньої порожнини, співвідношення висоти H і ширини профілю B , рисунок протектора.

1.5 Вплив коефіцієнта опору коченню на витрату палива автомобіля

Пневматичні шини та їх характеристики опору коченню у процесі експлуатації істотно впливають на витрату палива автомобілем [7, 30].

Якщо шина обертається легше, то потреба у потужності для певної дорожньої ситуації менша, економиться і паливо – якщо розглядати його витрату на великі відстані. Отже, за рахунок шин, оптимізованих відносно опору коченню, досягаються відчутні показники зниження витрати палива, отже, знижений викид шкідливих речовин. Сьогодні на заводі навіть на автомобілі середнього класу ставляться шини зі зниженим опором коченню, що мають помітний потенціал економії.

Проте, дослідженнями [7, 18] встановлено, що крім шин, у зимових умовах експлуатації на витрату палива автомобілем впливають: тепловий стан двигуна та агрегатів трансмісії, а також аеродинамічний опір.

Стабілізація витрати палива відбувається після досягнення стійкого теплового стану агрегатів трансмісії, при яких температура оливи в цих агрегатах вища 15...25 °С [2].

Дослідження [12] показали, що усталені температури агрегатів трансмісії не впливають на витрату палива автомобіля зі зниженням температури навколишнього повітря до мінус 40 °С, що пов'язано з підтриманням температури оливи на оптимальному рівні.

Таким чином, під час руху автомобіля з прогрітими до усталених температур вузлами трансмісії, збільшення витрати палива із зниженням температури навколишнього повітря в основному пов'язане зі збільшенням опору коченню шин і збільшенням аеродинамічного опору [18].

Зниження споживання палива зменшує викид двоокису вуглецю (CO₂), продукту згоряння палива, що сприяє виникненню парникового ефекту Землі. Як і США, у Європі середній коефіцієнт витрати палива стає вирішальною мірою оцінки. Виробники автомобілів віддають перевагу шинам з низьким опором коченню.

Паливна економічність автомобіля значною мірою визначається опором коченню. Будь-яке зменшення опору коченню в шині призводить до економії пального [25].

Зниження опору коченню на 20% сприяє зниженню витрати пального від 2,5-3% до 5,1% [16]. Відомо, що коефіцієнт опору коченню зменшується зі збільшенням температури шини. Підвищення температури шини з 30 до 70 °С призводить до зменшення опору коченню на 25 ... 30%. Збільшення температури шини з підвищенням температури навколишнього повітря, за даними [17], відбувається за лінійною залежністю.

Із збільшенням коефіцієнта опору коченню на 0,001 витрата пального збільшується в середньому на 0,08 – 0,2 л на 100 км, віднесеному до повної ваги автомобіля [8].

Витрата пального легковим автомобілем, зумовлена гістерезисними витратами, складає близько 10 % [5].

Залежно від конструктивних особливостей шин витрата пального автомобіля може змінюватися на 4–7 % [25].

Зниження коефіцієнта опору коченню на 0,001 (4-10 % найхарактернішої його абсолютної величини, що відповідає коченню по твердих дорогах) еквівалентне зменшенню витрати бензину та дизельного палива в середньому на 0,08 – 0,2 л на 100 км, віднесеній до повної ваги автомобіля. Величезна кількість рідкого палива витрачається на вироблення механічної енергії, яка зрештою витрачається на подолання опору коченню шин колісних рушіїв автомобілів та автопоїздів.

Зниження в середньому на 10 % опору коченню призводить до збільшення економії палива на 1–2 %. Наприклад, зміна коефіцієнта опору коченню на величину 0,001 призводить до зміни паливної економичності на 1% під час руху в міському циклі та 2% під час руху за містом. Дослідження показали, що для шин, що мають опір коченню 0,012, десятивідсоткове зменшення цієї величини викличе збільшення економії палива на 1,4%. Визначено лінійну залежність витрати палива автомобілем від коефіцієнта опору коченню. Теоретична межа економії палива від зниження опору коченню може становити 14% для умовних автомобілів.

Таким чином, можна зробити висновок, що під час експлуатації автомобілів в низькотемпературних умовах збільшення витрати палива і коефіцієнта опору коченню значною мірою обумовлюється зростанням гістерезисних витрат в шинах [1, 2, 7].

На підставі проведеного аналізу для досягнення поставленої мети дослідження необхідно вирішити такі завдання.

1. Встановити закономірність впливу низьких температур навколишнього повітря на величину коефіцієнта опору коченню шин.

2. Визначити чисельні значення параметрів математичної моделі стосовно автомобільних шин конкретних типів.

3. Встановити раціональні інтервали складності низькотемпературних умов експлуатації стосовно шин легкових автомобілів.

4. Оцінити рівні пристосованості автомобільних шин різних типів до низькотемпературних умов експлуатації та провести їхній порівняльний аналіз.

5. Розробити шляхи практичного застосування результатів. Оцінити економічну ефективність запровадження отриманих результатів дослідження.

Висновки до розділу

1. Зміна температури навколишнього повітря спричиняє зміну коефіцієнта опору коченню шин.

2. Вплив низьких температур стосовно об'єкта дослідження досліджено недостатньо.

3. Коефіцієнт опору коченню – один із найважливіших показників, що зумовлює вплив шини на зміну витрати палива автомобілем.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Модель формування витрати палива під впливом характеристик шин, що використовуються за низьких температур навколишнього повітря

У сучасних умовах ринкової економіки актуальна не лише проблема економної експлуатації автомобілів, а й їх ефективної експлуатації. Оцінка ефективності експлуатації автомобілів може набувати якісної та кількісної форми.

Якісна оцінка ефективності використання автомобільного транспорту передбачає розкриття її через сукупність множини понять та категорій. Оскільки результативність роботи автотранспорту залежить від багатьох чинників, якісна оцінка може бути розкрита через кількісне вираження окремих чинників. До цих чинників належать конструктивні особливості автомобіля; транспортні, дорожні та кліматичні умови його експлуатації; організація маршрутів руху, організація зберігання та технічного обслуговування і ремонту.

Кількісна оцінка ефективності використання автомобільного транспорту, як і будь-якої іншої економічної категорії, виражається у вартісних та натуральних показниках.

Для вимірювання та оцінки економічної ефективності використання автомобільного транспорту використовуються такі показники, як обсяг спожитих матеріальних ресурсів (запчастини та матеріали), обсяг і собівартість перевезень, а також інші показники. При цьому під підвищенням ефективності використання автотранспорту мається на увазі мінімізація витрат на експлуатацію рухомого складу або, у термінах системного підходу, мінімізація цільової функції F_e :

$$F_e = \sum C_i \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де C_i – окремі категорії витрат за експлуатацію автомобіля.



Рисунок 2.1. Схема формування витрати палива автомобіля під впливом характеристик використовуваних шин за низькотемпературних умов експлуатації

Найважливішими з компонентів цільової функції вважаються компоненти витрат на ПММ, зокрема, витрати на паливо C_f , визначаються так:

$$C_f = R_f \cdot Q, \quad (2.2)$$

де R_f – ринкова ціна палива;

Q – витрата палива.

У наукових працях, що використовують системний підхід до аналізу ефективності використання автопарку у реалізованій витраті палива Q виділяють постійну, сезонну та випадкову складові (компоненти):

$$Q = Q_C + Q_T + Q_P, \quad (2.3)$$

де Q_C – постійна складова;

Q_T – сезонна періодична складова;

Q_P – випадкова складова.

Постійною складовою є середня за рік (за місяць, за добу) витрата палива. Періодична складова зумовлена сезонними змінами умов експлуатації.

У більшості випадків для опису періодичної складової використовують гармонійну апроксимацію наступного виду [3]:

$$Q_T = Q_{TO} + \sum_{k=1}^g C_k \cos(m(kT_i - T_k)), \quad (2.4)$$

де Q_{TO} – середнє значення Q_T ($Q_{TO} = Q_C$),

k – номер гармоніки;

g – кількість гармонік;

C_k – півамплітуда коливання k -ої гармоніки;

m – інтервал між T_i і T_{i+1} у градусах;

T_k – початкова фаза коливання в місяцях.

Проте слід зауважити, що представлена вище гармонійна апроксимація в явному вигляді не враховує такі "стрибкоподібні" процеси, як зміна виду оливи, охолоджуючої рідини і типів шин під час переходу з літнього режиму експлуатації на зимовий період руху. А цей перехід суттєво позначається на багатьох характеристиках автомобіля.

Справді, велика кількість автомобілів в Україні значний час працює за низьких температур навколишнього повітря, що значно впливає на експлуатаційні витрати. Наприклад, під впливом зимових умов експлуатації суттєво змінюється витрата палива, що пояснюється підвищенням опору руху. Втрати на кочення шин становлять значну частку у загальному балансі опору руху автомобіля.

Необхідний розвиток системного підходу до оцінки ефективності використання автопарку у напрямку врахування стрибкоподібних сезонних змін різних вузлів та агрегатів автомобіля як самостійних компонентів системи. При цьому, безперечно, що подібний розвиток системного підходу неможливий без оцінки пристосованості цих вузлів та агрегатів до сезонних умов експлуатації. Одним з вузлів автомобіля, що істотно змінює свої характеристики

залежно від сезону і впливає на сезонні коливання споживання палива, є шини автомобіля.

Таким чином, для покращення оцінки ефективності використання автомобілів взимку та її обґрунтованого підвищення необхідно мати методіку об'єктивної оцінки пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації, зокрема за коефіцієнтом опору коченню. Дана робота присвячена впливу низькотемпературних умов експлуатації автомобілів на опір коченню автомобільних шин.

2.2 Оцінка пристосовуваності автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації за опором коченню

Відхилення умов від стандартних представляє собою ускладненість (суворість), яка негативно впливає на автомобілі та його елементи. Проте показники якості ефективності автомобіля залежать не лише від складності умов експлуатації, але і від його пристосованості до цих умов. Чим вища пристосованість, тим менший негативний вплив складності.

Для оцінки факторів умов експлуатації використовуються відповідні параметри. Так, для опису температурного режиму повітря застосовуються статистичні характеристики: закон розподілу температур, середня річна температура, її стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу, абсолютний мінімум і максимум температур, середня температура найспекотнішого та найхолоднішого місяців, середня тривалість періоду з певними температурами (наприклад, нижче мінус 10 °С, нижче мінус 20 °С тощо).

Багато показників кліматичних факторів взаємопов'язані (скорельовані) один з одним. Наприклад [20]:

$$D_c = 263 - 10 \cdot t_n, \quad (2.5)$$

де D_c – кількість днів зі сніговим покривом;

t_n – середньорічна температура повітря.

2.2.1 Встановлення раціональних інтервалів складності низькотемпературних умов експлуатації та рівнів пристосованості

Відповідно до нормативно-технічної документації, температура за якої можуть експлуатуватися автомобільні шини для помірного клімату повинна дорівнювати не нижче мінус 45 °С. У той же час існують морозостійкі шини, призначені для експлуатації за температур мінус 60 °С. Таким чином, пропонується прийняти температуру навколишнього повітря мінус 60 °С як максимально можливе відхилення цього фактора і прирівняти її до 12 R. За точку відліку складності низькотемпературних умов експлуатації приймаємо мінус 0,5 °С, оскільки підвищення або пониження температури з переходом через 0 °С призводить до зміни стану покриття дорожнього полотна [11]. Максимальному значенню складності температури навколишнього повітря буде відповідати мінус 45 °С, оскільки це мінімальна температура за якої дозволена експлуатація автомобільної шини (за винятком морозостійких).

Весь діапазон негативних температур повітря поділяється на 4 інтервали з урахуванням індексу складності R умов експлуатації:

помірні	(-0,5...-15 °С, R = (0,1...3,0));
помірно складні	(-15...-30° С, R = (3,0...6,0));
складні	(-30...-45 °С, R = (6,0...9,0));
дуже складні	(-45...-60 °С, R = (9,0 ... 12,0)).

Коефіцієнт пристосованості автомобільних шин до фактичної температури повітря за величиною опору коченню пропонується визначати:

$$K = \frac{f_0}{f_\phi}, \quad (2.6)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню за температури навколишнього повітря, що дорівнює мінус 0,5 °С,

f_ϕ – коефіцієнт опору коченню за фактичної температури навколишнього повітря.

Для цих значень температур та значень складності визначається величина опору коченню, що формується під впливом низькотемпературних умов експлуатації. Відповідно, коефіцієнт пристосованості визначається на чотирьох інтервалах складності та відповідних їм температурах навколишнього повітря.

Залежно від значення коефіцієнта пристосованості, на підставі раніше виконаних досліджень, виділяються три рівні пристосованості: високий, середній та низький.

Згідно з проведеними дослідженнями [18], для вимірювання коефіцієнта пристосованості K існує три діапазони.

Пропонується наступне розбиття на діапазони:

1. "низький": $(0; K_{\min} + \frac{K_{\max} - K_{\min}}{3})$;
2. "середній": $(K_{\min} + \frac{K_{\max} - K_{\min}}{3}; K_{\min} + \frac{2}{3}(K_{\max} - K_{\min}))$;
3. "високий": $(K_{\min} + \frac{2}{3}(K_{\max} - K_{\min}); 1)$,

де K_{\max} , K_{\min} – максимальне та мінімальне зареєстроване значення K за результатами експерименту.

Основна наукова ідея полягає в тому, що вплив складних умов на автомобільні шини залежить від рівня їхньої пристосованості до цих умов. Таким чином, як робоча гіпотеза стосовно даної роботи висувається положення про те, що однофакторною адитивною моделлю пристосованості можна описати залежність величини коефіцієнта опору коченню від низьких температур навколишнього повітря:

$$f = f_0 + S \cdot h, \quad (2.7)$$

де f_0 – значення коефіцієнта опору коченню при оптимальній температурі навколишнього повітря;

S – параметр чутливості;

h – індекс складності.

2.2.2. Визначення інформативних характеристик автомобільних шин за ступенем впливу на пристосованість шин до низькотемпературних умов експлуатації

Аналіз конструктивних та експлуатаційних ознак, що впливають на опір коченню шин, проводиться з використанням факторного аналізу. Головними цілями факторного аналізу є [1]: скорочення числа змінних (редукція даних) та визначення структури взаємозв'язків між змінними, тобто класифікація змінних. Тому факторний аналіз використовується як метод скорочення даних або як метод класифікації.

Визначення найбільш інформативних ознак сприяє [3]:

- 1) зменшенню до мінімуму кількості необхідних описів класів ознак без істотного збільшення ймовірності помилки ідентифікації;
- 2) можливості використання простих алгоритмів ідентифікації;
- 3) зменшенню ймовірності помилки ідентифікації.

Однією з найбільш чисельних груп автомобілів у нашому регіоні на момент 2023 р. були легкові автомобілі, характерними ознаками яких є оснащення їх шинами з розмірністю R13.

На етапі аналітичних досліджень встановлено, що генеральна вибірка автомобільних шин розмірності R13 найбільша за чисельністю стосовно легкових автомобілів. Дослідженням охоплено шини як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва.

Асортимент типів шин, розмірів та моделей самий різноманітний [29]. У той же час, лише частина значень градацій ознак характерна для шин, що використовуються на легкових автомобілях взагалі, і для шин з розмірністю R13 зокрема.

Так, наприклад, в [11] зазначається, що “найважливішою класифікаційною ознакою є напрямок ниток корду. Абсолютна більшість шин належить до двох основних конструкційних типів: діагонального та радіального”. У той

самий час, ряд дослідників [9, 16] зазначає про те, що радіальні пневматичні шини нині домінують. Більше 80% шин, що випускаються у світі, мають радіальну конструкцію.

Це пояснюється тим, що радіальні шини мають хороші характеристики за коченням. Їх пробіг на 25–75% вищий за пробіг аналогічних діагональних шин. Вони сприяють зниженню витрати палива на 3–5%. На швидкостях руху до 120 км/год радіальні шини мають найменший опір коченню.

Слід відзначити низку техніко-економічних переваг радіальних шин порівняно з діагональними. Зокрема, радіальні шини мають значно менший (на 5–30 %) коефіцієнт опору коченню порівняно з діагональними.

Таким чином, останнім часом основна увага звернена на розвиток та вдосконалення конструкцій радіальних шин, як найперспективніших.

Нині цілком чітко вимальовується тенденція переходу на безкамерні шини. Порівняно з камерними безкамерні шини [29]:

- підвищують безпеку руху (підвищена активна безпека внаслідок відсутності можливості миттєвої розгерметизації);
- мають меншу масу;
- мають більший термін служби;
- мають менший опір коченню;
- спрощують монтаж та поточний ремонт (зменшення часу простою автомобіля у дорозі під час ремонту шин через проколи);
- не створюють електростатичного заряду між камерою та покришкою;
- менше нагріваються під час руху.

Безкамерні шини характеризуються більшою стійкістю внутрішнього тиску повітря, що пояснюється тим, що повітря легше просочується через розтягнуті стінки камери, ніж через нерозтягнутий повітронепроникний шар безкамерної шини [1]. Безкамерні шини мають пробіг на 20% вищий порівняно з аналогічними камерними.

Слід наголосити на перевагах, так і недоліках безкамерних шин у порівнянні з камерними. До переваг безкамерних відносяться: довше збереження внутрішнього тиску у випадку пошкодження шини, можливість проведення ремонту шини без демонтажу з коліс автомобіля, менші маса і теплоутворення, зручність монтажу та менша собівартість шин. До недоліків – труднощі їхнього накачування ручним насосом, а також необхідність застосовувати спеціальні герметичні ободи.

Новим напрямом у розвитку конструкції шин легкових автомобілів було створення шин з асиметричним рисунком та профілем протектора. Проте подальшого розвитку цей напрямок не отримав через те, що передбачувані спочатку переваги в експлуатації не підтвердилися.

Зростаюча останнім часом інтенсивність руху, річний пробіг на один автомобіль, а також усвідомлення важливості якості продукції та безпеки споживачів, привели до спеціалізації характеристик шин і чіткого поділу їх за метою застосування на літні та зимові.

Слід зазначити, що зимові шини з шипами протиковзання отримали широке поширення як достатньо ефективний засіб підвищення безпеки руху та тягово-гальмівних якостей автомобілів під час руху на зимових укочених і обмерзлих дорогах. На відміну від поверхні шини, що забезпечує певний рівень зчеплення з дорожнім покриттям переважно за рахунок сил тертя, шипи вступають у механічну взаємодію з дорогою. При цьому змінюється фізична сутність контактних явищ – сили тертя доповнюються силами деформації (руйнування, різання), що значно підвищує зчеплення шини з дорогою [9]. Гальмівні властивості та динамічні якості автомобілів покращуються під час використання шин цього типу приблизно на 50 – 100 %. Шини з металевими шипами під час руху автомобіля по дорогах із сухим твердим покриттям мають менший опір бічному відводу під час руху по кривих, більший гальмівний шлях, підвищений опір коченню, раннє виникнення дисбалансу, підвищену шумність і, крім усього іншого, пошкоджують дорогу.

Використання зимових шипованих шин доцільне за необхідності в безперервній роботі автомобіля незалежно від погоди.

Під час руху засніженою дорогою зимові шини дають економію витрати палива в порівнянні з магістральними шинами [9]. Для дорожньо-кліматичних умов нашої країни застосування шин із шипами протиковзання залишається ще перспективним, особливо в умовах Карпат.

Шини легкових автомобілів призначені переважно для роботи на дорогах з удосконаленими покриттями.

У більшості сучасних вітчизняних шинах радіального типу армуючі текстильні матеріали використовуються в каркасі, а металокорд у брекері. Для радіальних шин брекер має бути дуже міцним та жорстким, тому він робиться з металокорду.

Для шин легкових автомобілів зазвичай використовують два радіальних шари в каркасі, зроблених із синтетичного матеріалу, наприклад, гауон або поліестер, і два шари сталевих кордів, а також два шари корду зробленого із синтетичного матеріалу, наприклад нейлону [29].

Висновки по розділу

1. Встановлені раціональні інтервали складності низькотемпературних умов експлуатації.

2. Запропоновано показник пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації, що є відношенням значення коефіцієнта опору коченню при оптимальній температурі навколишнього повітря до його значення при фактичній температурі.

3. З аналізу проведених раніше досліджень поставлено гіпотеза існування трьох рівнів пристосованості.

4. Висунуто гіпотезу про однофакторну модель пристосованості залежності коефіцієнта опору коченню від низьких температур навколишнього повітря.

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1 Загальна методика експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є: перевірка гіпотез, висунутих у теоретичних дослідженнях та визначення чисельних значень параметрів математичних моделей. Для цього було розроблено методику, згідно з якою проводилися експериментальні дослідження. Даною методикою передбачено визначення часу вибігу автомобіля за різних температур навколишнього повітря.

Експлуатаційні випробування проводились на автомобілі Daewoo Lanos. Автомобіль був справний, укомплектований згідно з нормативно-технічною документацією. Шини змонтовані на рекомендовані ободи 5,5 J та динамічно відбалансовані. Випробування проводилися за температур навколишнього повітря від мінус 21 до 0 °C і атмосферному тиску від 740 до 775 мм. рт. ст. Шини не були пошкоджені, знос протектора не перевищував 50%. Тиск повітря в шинах (відповідно до [24, 17]) відповідав значенням, встановленим керівництвом (інструкцією) з експлуатації автомобіля – 0,2 МПа. Контроль величини тиску здійснювався на “холодних” шинах. Режим прогріву відповідає, а похибки вимірювань приладів не перевищують значень, заявлених у нормативних вимогах. Результати випробувань заносилися до протоколу випробувань. У протоколі зазначалася дата проведення випробування, маркування автомобільної шини.

Випробування проводилися на прямолінійній, горизонтальній ділянці дороги (поздовжні ухили не більше 0,5 % на ділянках довжиною не більше 50 м, поперечні ухили не більше 3 %), з асфальтобетонним покриттям.

Випробування на вибіг проводяться зі швидкістю 50 км/год до повної зупинки автомобіля. Покази швидкості руху та часу вибігу автомобіля пере-

давалися на ноутбук з електронного блоку управління з використанням адаптера K-Line по діагностичним інтерфейсам.

Випробували 10 шин різних типів. Було вирішено, що для виявлення закономірностей поведінки функції досліджуваній інтервал температур навколишнього повітря досить розбити на 5 інтервалів. Результати попереднього експерименту показали, що будь-яких аномалій у температурній поведінці немає, тому було зроблено висновок у тому, що прийнята розбивка інтервалу температур з метою дослідження прийнятна. Якби в досліджуваній залежності були виявлені будь-які аномалії, необхідні були б додаткові експериментальні точки, але цього не потрібно.

3.2 Розрахунок коефіцієнта опору коченню шин та витрати палива автомобіля

Визначення початкового коефіцієнта опору коченню здійснювалося згідно залежності [24]:

$$f = \frac{A \cdot v_0^2}{\frac{2 \cdot S \cdot g \cdot A}{e^{\delta} - 1}} - 2 \cdot 10^{-3}, \quad (3.1)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

e – основа натурального логарифму ($e = 2,7$);

V_0 – початкова швидкість руху автомобіля (приймається 50 км/год, 13,88 м/с);

δ – коефіцієнт обертових мас автомобіля ($\delta = 1,01$).

$$A = \frac{k_n \cdot F_n}{G_a} + 65 \cdot 10^{-6} + \lambda_{xч} \cdot S_n \cdot 13 \cdot 10^{-8}, \quad (3.2)$$

де k_n – коефіцієнт опору повітря ($k_n = 0,1525 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$);

$\lambda_{xч}$ – коефіцієнт, що залежить від конструкції ходової частини автомобіля (приймається 4,0 для легкових та 5,5 – для вантажних автомобілів);

S_n – показник рівності покриття ($S_n = 50$);

F_n – лобова площа автомобіля ($F_n = 1,8 \text{ м}^2$).

Розрахунок витрати палива може бути проведений за формулою:

$$Q_s = \frac{g_e (G_a \cdot f + 0,077 \cdot k_n \cdot F_n \cdot V^2)}{0,36 \cdot 10^5 \cdot \eta_{mp} \cdot \gamma_n}, \quad (3.3)$$

де g_e – питома витрата палива, г/кВт·год;

G_a – вага автомобіля, Н;

$$G_a = M_a \cdot g, \quad (3.4)$$

де M_a – маса автомобіля, кг;

$$M_a = M_c + 80 \cdot Z_n \cdot \gamma_{nac}, \quad (3.5)$$

де M_c – споряджена маса автомобіля ($M_c = 915 \text{ кг}$);

Z_n – номінальна пасажиромісткість (включно з водієм) ($Z_n = 5 \text{ чол.}$);

γ_{nac} – коефіцієнт використання пасажиромісткості ($\gamma_{nac} = 0,4$);

η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії (приймається 0,875 для автомобілів з одним і 0,825 – з двома ведучими мостами);

γ_n – щільність палива (приймається 0,74 для бензину та 0,825 для дизельного палива);

$$k_n = \frac{c_x \cdot \rho_n}{2}, \quad (3.6)$$

де c_x – коефіцієнт обтічності автомобіля ($c_x = 0,25$);

ρ_n – щільність атмосферного повітря ($\rho_n = 1,22 \text{ кг/м}^3$).

Складові рівнянь 3.2 та 3.3 є технічними характеристиками, які містяться у нормативно-технічній документації.

Під час вибігу, рух автомобіля приймається рівносповільненим:

$$S = 0,5 \cdot V \cdot t, \quad (3.7)$$

де V – початкова швидкість вибігу, м/с;

t – час вибігу, с.

У додатку А наведено отримані експериментальні дані часу вибігу автомобіля.

3.3 Вплив низькотемпературних умов експлуатації автомобільних шин на коефіцієнт опору коченню

Результати експериментальних досліджень щодо визначення коефіцієнта опору коченню шин для різних температур навколишнього повітря представлені в табл. Додатка А.

Під час проведення експериментальних досліджень встановлено закономірність зміни коефіцієнта опору коченню за низькотемпературних умов експлуатації автомобільних шин.

Ступінь зміни коефіцієнта опору коченню, згідно з отриманими експериментальними даними, неоднакова для шин різних типів. Це пояснюється різним рівнем пристосованості шин.

Після обробки експериментальних даних отримані однофакторні залежності коефіцієнта опору коченню шини від температури навколишнього повітря. Аналіз кривих залежностей коефіцієнта опору коченню від температури навколишнього повітря у системі прямокутних координат дає можливість застосувати емпіричну формулу виду:

$$f = a \cdot e^{-bT}, \quad (3.8)$$

де a, b – параметри рівняння регресії;

T – температура навколишнього повітря, °С.

Дослідимо результат експоненційної апроксимації для шини Conti-?inter Viking 2 Continental 155/70 R13 (табл. 3.1) шляхом розкладання функції у степеневий ряд:

$$a \cdot e^{bT} = a \left(1 + (b \cdot T) + \frac{(b \cdot T)^2}{1 \cdot 2} + \frac{(b \cdot T)^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} \right) + \dots \quad (3.9)$$

Для $T = -0,5$ °С:

$$a \cdot e^{bT} = a \left(1 + 0,000077 + 4,5 \cdot 10^{-13} + \dots \right). \quad (3.10)$$

Для $T = -45$ °С:

$$a \cdot e^{bT} = a \left(1 + 0,00693 + 2,4 \cdot 10^{-5} + \dots \right). \quad (3.11)$$

На обох кінцях діапазону третім членом можна знехтувати (порівняно з одиницею він мізерно малий і малий по відношенню до другого).

Другий член при $T = -0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ також можна не врахувати (порівняно з одиницею він мізерно малий і малий по відношенню до першого члена). Другий член при $T = -45 \text{ } ^\circ\text{C}$ для деяких шин можна порівняти з першим, але малий по відношенню до одиниці.

Таким чином, через те, що в поданні функції степеневим рядом старшими членами можна знехтувати (справедливо для всіх випробуваних шин), отримуємо її лінійне наближення, зручніше з практичної точки зору. "Відкидання" членів дає похибку апроксимації.

Для уточнення лінійного подання проводимо повторну апроксимацію вже лінійною функцією. Чисельні значення основних статистичних характеристик та параметрів однофакторної моделі, визначені на основі експоненційної та лінійної апроксимації експериментальних даних, наведені в табл. 3.1.

На рисунку 3.1 представлена лінійна залежність опору коченню автомобільних шин від температури повітря (1 – Debica Navigator 3 175/70 R13 82H, 2 – Nokian Hakkapeliitta 5 175/70 R13 82T, 3 – Rosava BC-11 175/70 R13 82T).

Нова апроксимація ближче (у сенсі мінімізації середнього відхилення) лягає до експериментальних точок, ніж лінійне наближення експоненти ("відкидання" старших членів).

Таким чином, повна експонента дасть менше відхилення, ніж лінійна апроксимація, яка, у свою чергу, дає менше відхилення, ніж лінійне наближення. На цьому ґрунтується пропозиція використовувати лінійну апроксимацію для практичних потреб – простота розрахунку, порівняно з експоненційною за прийнятною точністю.

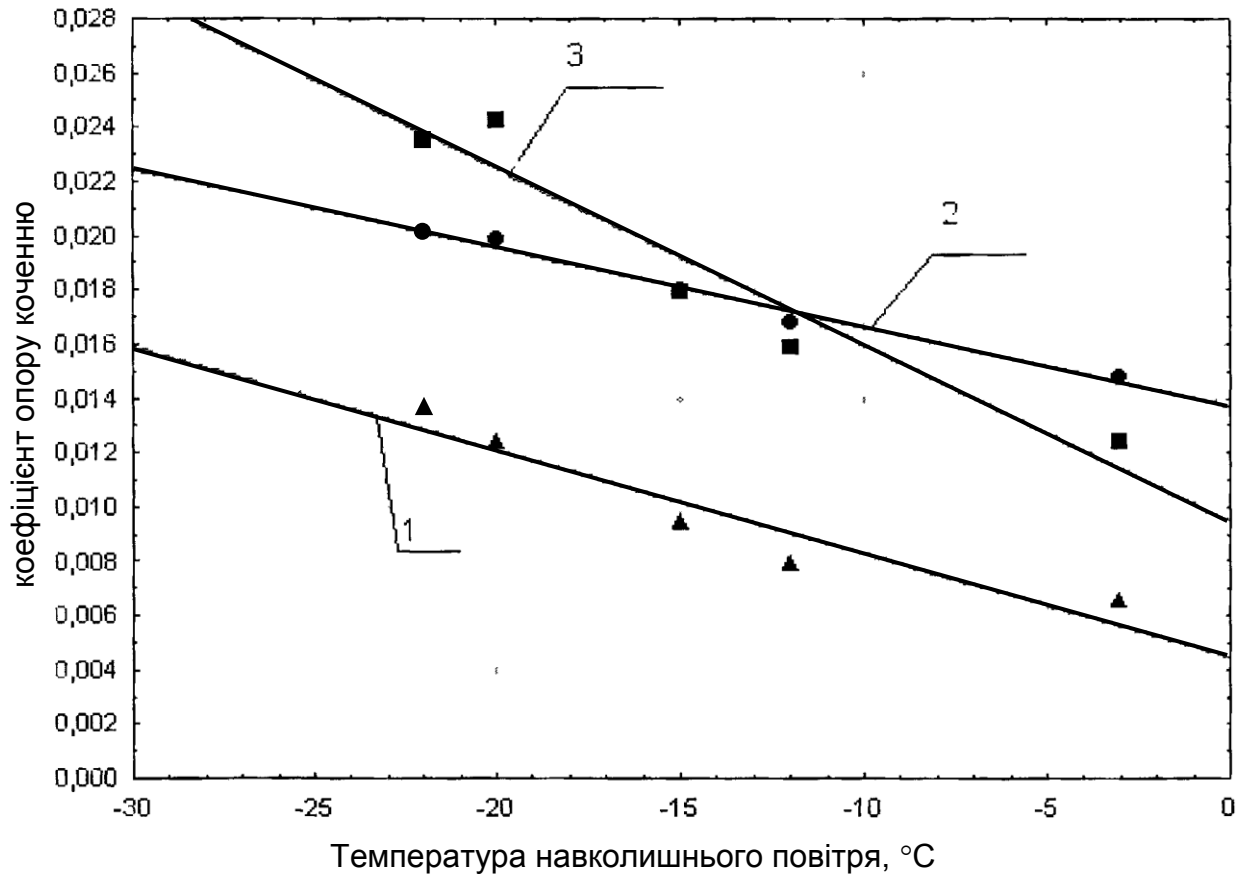


Рисунок 3.1 – Залежність коефіцієнта опору коченню від температури навколишнього повітря для автомобільних шин різних типів

Таблиця 3.1 – Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик математичних моделей для автомобільної шини Continental IceContact 2 155/70 R13 75T

Параметри, статистичні характеристики	Розрахункове рівняння	
	$y = a + e^{-bT}$	$y = a + b \cdot T$
a	1.218248E-02	1.175322E-02
b	-1.547361E-04	-2.431788E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,98	-0,98
Коефіцієнт детермінації	0,98	0,97
Середня похибка апроксимації, %	0,99	1,61
Дисперсійне відношення Фішера	25,87	25,87
Рівень адекватності	0,95	0,95

В результаті експлуатаційних випробувань визначено чисельні значення коефіцієнта пристосованості K автомобільних шин. Встановлена належність кожного з них до одного з трьох рівнів пристосованості.

Таким чином, висунута гіпотеза про однофакторну модель впливу низьких температур навколишнього повітря на коефіцієнт опору коченню підтверджена. Ця залежність описується лінійною математичною моделлю пристосованості.

3.4 Визначення рівнів пристосованості

Отриману вибірку випробуваних шин потрібно розбити на рівні за значеннями коефіцієнта пристосованості K .

У даному випадку групу шин необхідно розбити на підгрупи за значеннями K . Перш ніж приступати до формулювання принципу розбиття на підгрупи має сенс розглянути функцію розподілу параметра щодо його поліmodalності. Поліmodalність функції розподілу може підказати і принцип розбиття.

Функція розподілу для даного випадку має наступний вигляд, представлений на рисунку 3.2.

Як бачимо, спостерігається “звичайне” групування показника K у двох непересічних (за даної кількості значень) областях. Тому застосування “примусового” розбиття на основі дисперсії для всієї вибірки є малообґрунтованим. Крім того, гістограма K показує небажаність розбиття всієї сукупності шин на 2 групи.

У табл. 3.2 представлені притаманні шинам з певним рівнем пристосованості, відповідні ознаки, а також середні значення коефіцієнта опору коченню та параметра чутливості моделі пристосованості

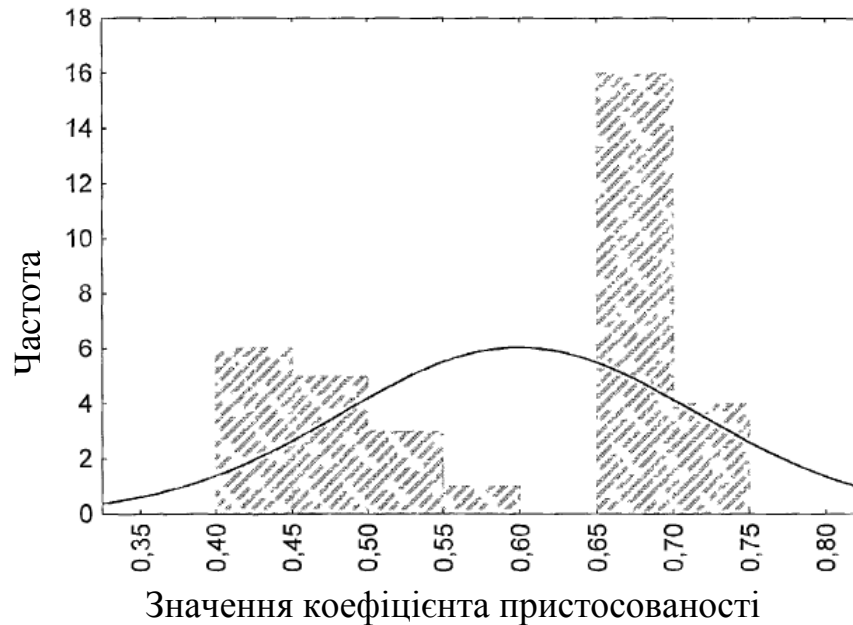


Рисунок 3.2 – Розподіл показника пристосованості

Таблиця 3.2 – Рівні пристосованості автомобільних шин до низькотемпературних умов за коефіцієнтом опору коченню

Рівень пристосованості	Інтервал значення K	Середнє значення f	Автомобільні шини
Високий	0,63...1,0	$182 \cdot 10^{-4}$	Зимові ошиповані
Середній	0,52...0,62	$93 \cdot 10^{-4}$	Неошиповані, всесезонні
Низький	0...0,51	$87 \cdot 10^{-4}$	Неошиповані, дорожні

3.5 Класифікація автомобільних шин за рівнями пристосованості

Як випливає з результатів факторного аналізу експериментальної вибірки шин, інформативними ознаками з метою віднесення до одного з трьох рівнів пристосованості є: категорія використання та наявність або відсутність шипів. Інші параметри мало інформативні і віднесення по них до одного з трьох рівнів пристосованості неможливо.

У таблиці 3.3 наведено матрицю апіорних ймовірностей для рівнів пристосованості шин, де: A_{11} - "зимова", A_{12} - "дорожня", A_{13} - "всесезонна", A_{21} - "ошипована", A_{22} - "неошипована", H_1 - "високий", H_2 - "середній", H_3 - "низький".

Таблиця 3.3 – Значення $P(A_j|H_i)$ для рівнів пристосованості шин

Рівень пристосованості	$P(H_i)$	Ознака				
		Категорія використання A_1			Наявність шипів A_2	
		A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{21}	A_{22}
		$P(A_{11} H_i)$	$P(A_{12} H_i)$	$P(A_{13} H_i)$	$P(A_{21} H_i)$	$P(A_{22} H_i)$
H_1	0,57	1	0	0	1	0
H_2	0,09	0	0	1	0	1
H_3	0,34	0,17	0,83	0	0	1

Висновки до розділу

1. Аналіз експериментальних даних підтвердив лінійну залежність між коефіцієнтом опору коченню та температурою навколишнього повітря.
2. Розроблено математичну модель лінійної залежності величини коефіцієнта опору коченню від низьких температур навколишнього повітря автомобільних шин різних типів. Доведено її адекватність.
3. Встановлено три рівні пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації (низький, середній, високий).

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги до виробничої санітарії і промислової гігієни під час технічного обслуговування і ремонту автомобілів

Під час технічного обслуговування і ремонту автомобілів необхідно вживати заходів проти їх самостійного переміщення. Забороняються технічне обслуговування й ремонт автомобілів із працюючим двигуном, крім окремих випадків (передбачені технологічним процесом) [22].

Підйомно-транспортні обладнання має бути у справному стані і застосовуватися лише для свого прямого призначення. До роботи з цим устаткуванням допускаються особи, які пройшли відповідну підготовку і інструктаж.

Під час роботи не слід залишати інструменти на краю оглядової канави, на підніжках, капоті чи крилах автомобіля. При складальних роботах забороняється перевіряти збіг отворів в з'єднувальних деталях пальцями рук.

Під час розбирання і складання вузлів і агрегатів треба використовувати спеціальні знімачі, ключі. Гайки що важко відкручуються спочатку потрібно змочити гасом, а тоді відкрутити ключем. Викручувати гайки зубилом і молотком не дозволяється.

Забороняється заставляти проходи між робочими місцями деталями і вузлами, і збирати дуже багато деталей на місцях розбирання. Підвищену небезпеку становлять операції зняття та установки пружин. Ці операції слід виконувати на стендах чи з допомогою пристосувань, які забезпечують безпечну роботу.

Гідравлічні і пневматичні установки повинні бути обладнані запобіжними перепускними клапанами. Робочий інструмент слід утримувати в справному стані.

Вентиляція має забезпечувати видалення виділених парів і газів та доступ свіжого повітря. Природне і штучне освітлення робочих місць має бути

достатнім для безпечного виконання усіх операцій. На території підприємства необхідна наявність санітарно-побутових приміщень - гардеробних, душових, умивальних.

При проектуванні на підприємстві можуть виникнути:

- не відповідність фактичної необхідності наявності виробничих площ, обладнання, матеріалів, інструменту, складу та чисельності працюючих;
- відсутність або недостатність комунікацій, необхідних для забезпечення нормальних і безпечних умов праці (водопроводів, теплотрас, каналізації, електропостачання, зв'язку та іншого);
- відсутність або неякісне проведення інструктажу і навчання, керівництва та нагляду за роботою;
- незадовільний режим праці та відпочинку;
- неправильна організація робочого місця;
- відсутності відповідності або невідповідності умовам роботи спецодягу, індивідуальних засобів захисту та ін.;
- невідповідність вимогам безпеки конструкцій технологічного обладнання транспортних і енергетичних пристроїв;
- недосконалість конструкцій технологічного оснащення, ручного і переносного механізованого інструменту;
- відсутність або недосконалість огорожувальних засобів безпеки;
- незручне проведення огляду, технічного догляду та ремонту та ін.

За виконання робіт з ремонту агрегатів можливе виникнення небезпечних зон, при попаданні в яку людина може отримати травму.

Небезпечні зони виникають в області рухомих частин, механізмів і машин, верстатів, також при знятті і установці агрегатів, при роботі підйомно-транспортного устаткування, електроустаткування.

Під час обкатки і випробування (обладнання) агрегатів, вузлів і систем автомобіля виникають шуми, що заважають нормальній праці робітників. На

будь-якій виробничій дільниці порушення техніки безпеки і виробничої санітарії може бути причиною травм.

Травми можуть відбутися в результаті механічної дії середовища на людину. Так як робота проводиться з вузлами і агрегатами, то на кожному робочому місці необхідно місцеве освітлення.

4.2. Розробка логічно-імітаційної моделі виникнення травм на виробництві

Усі логічні процеси формування та можливого виникнення травмонезпечних та аварійних ситуацій, можна виокремити та знайти подію з якої починається небезпечний процес, ще до виникнення небезпечних наслідків.

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня небезпеки для конкретного об'єкта [15, 22]. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми залежно від явища що досліджується.

Використовуючи метод визначення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища є можливість оцінки рівня небезпеки певного об'єкта чи явища. Даний метод широко застосовують в зарубіжній інженерній практиці.

Основні його принципи полягають в тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травматичні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логічно-імітаційної моделі травми. Після цього будують модель “дерева відмов і помилок оператора”.

Слід зауважити, що важливе значення має правильний вибір головної події, від чого залежить доцільність виконання та ефективність моделі.

Головну подію, котра зумовлює виникнення травми, модель якої необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного

явища, яке за певних умов виробництва виникає.

Після вибору домінуючого випадкового явища (події) розпочинаємо побудову моделі (“дерева”). Використовуючи оператора “і” та “або”, використовуємо набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до подій, вибраної як домінуюча чи головна.

Спочатку визначаються травмонебезпечні ситуації та їх кількості, що можуть мати місце в процесі що розглядається, визначаємо ще й інші події, що входять до кожної такої ж ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів “і”, “або” та інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Слід мати на увазі, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована і перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

За даними виробництва визначаємо ймовірність базових подій. Наприклад, базова подія “стан контролю з охорони праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50% або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності всіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки “дерева”, позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі. На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і виникнення аварії та травми в процесі руху транспортного засобу складемо перелік базових подій. Вони лежатимуть в основі даної моделі. Кожній події (пункту) присвоїмо певне значення ймовірності його виникнення:

1. Стан контролю з охорони праці: $P_1 = 0,23$;
2. Невідповідальне відношення до проходження ТО: $P_2 = 0,06$;
3. Відсутність комплектуючих $P_3 = 0,15$;
4. Невисока міцність $P_4 = 0,04$;
5. Застарілі технічні засоби $P_6 = 0,3$;
6. Виникнення перешкод обслуговування $P_7 = 0,2$;
7. Досвід роботи $P_{12} = 0,5$.
8. Професійний рівень водія $P_{13} = 0,5$;
9. Психофізіологічний стан водія $P_{14} = 0,3$;

На основі наведених подій будемо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої зображено на рис. 4.1.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, що формують логіко-імітаційну модель процесу руху транспортного засобу. Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, що виникає за умови роботи автомобіля з несправною ходовою частиною. Ймовірність виникнення події P_5 визначаємо наступним чином:

$$P_5 = 0,25 + 0,05 + 0,03 + 0,1 - 0,25 \cdot 0,05 - 0,25 \cdot 0,03 - 0,25 \cdot 0,1 - 0,05 \cdot 0,03 - 0,05 \cdot 0,1 - 0,03 \cdot 0,1 + 0,25 \cdot 0,05 \cdot 0,03 \cdot 0,1 = 0,37$$

Ймовірність виникнення події P_{10} визначаємо так:

$$P_{10} = 0,25 + 0,05 - 0,25 \cdot 0,05 = 0,2875.$$

Ймовірність виникнення події P_{11} визначаємо:

$$P_{11} = 0,2 \cdot 0,37 \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 0,0064.$$

Ймовірність виникнення події P_{15} визначаємо наступним чином:

$$P_{15} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 0,075.$$

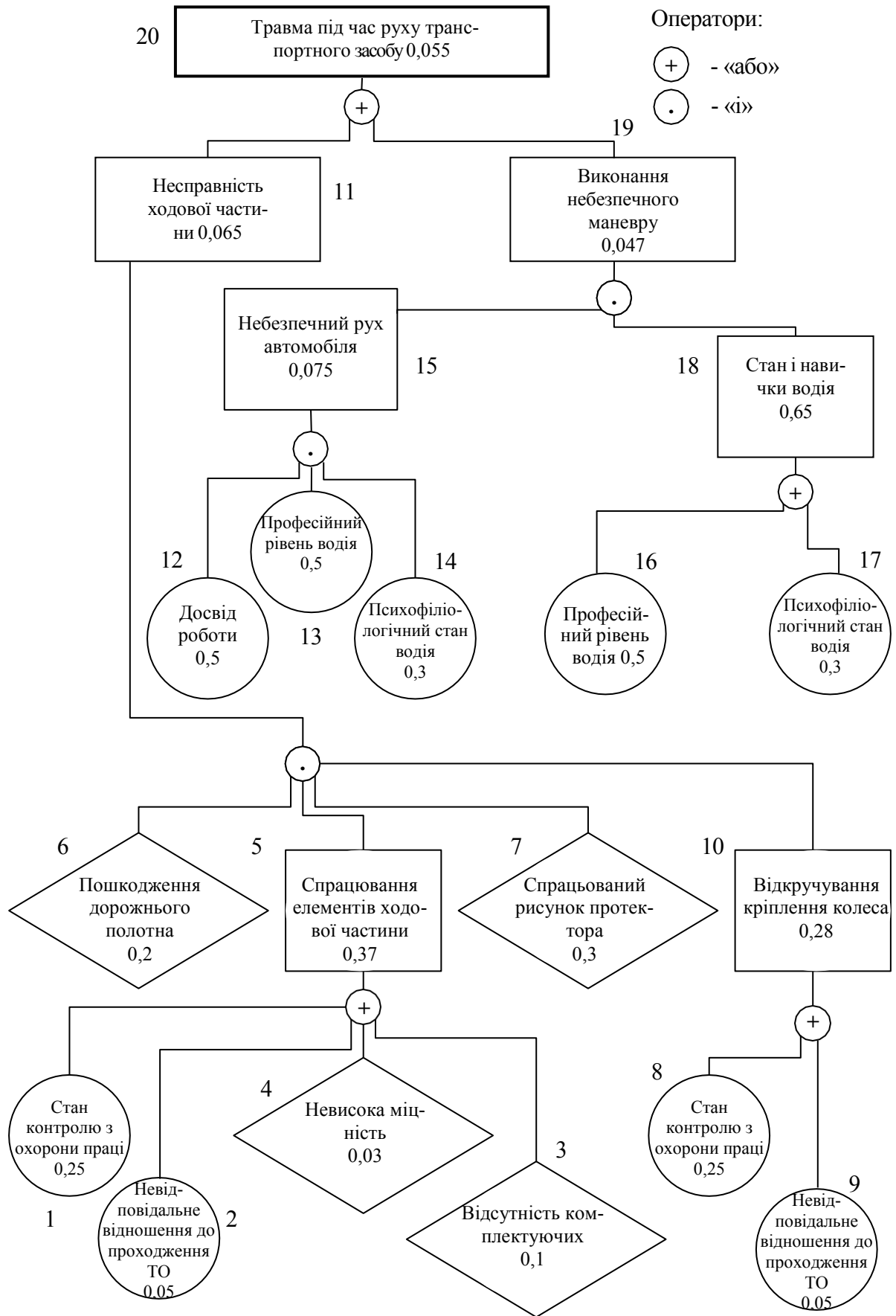


Рисунок 4.1 – Логічні зв'язки між окремими подіями

Ймовірність події P_{18} :

$$P_{18} = 0,5 \cdot 0,3 - 0,5 \cdot 0,3 = 0,065.$$

Ймовірність події P_{19} :

$$P_{19} = 0,075 \cdot 0,65 = 0,047.$$

Ймовірність події P_{20} :

$$P_{20} = 0,0064 + 0,048 = 0,055.$$

Таким чином ймовірність травми під час виходу з ладу елементів ходової частини є досить мала і становить $P = 0,055$.

Використання логіко-імітаційних моделей для дослідження аварій і травм та обґрунтування заходів охорони праці, дають можливість знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій [16, 18].

4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації класифікують за характером походження, ступенем поширення, розміром людських втрат і матеріальних збитків. Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, визначають такі види надзвичайних ситуацій:

- техногенного характеру;
- природного характеру;
- соціального характеру;
- воєнного характеру.

Надзвичайна ситуація техногенного характеру - порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті унаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин, раптового руйнування споруд; аварії в електроенергетичних системах, системах життєзабезпечення, системах теле-

комунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо.

Залежно від обсягів заподіяних надзвичайною ситуацією наслідків, кількості постраждалих і загиблих, обсягів технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації її наслідків, визначають такі рівні надзвичайних ситуацій:

- державний;
- регіональний;
- місцевий;
- об'єктовий.

За структурою класифікатор складається з трьох рівнів класифікації: клас, підклас, група.

Метод класифікації - ієрархічний, послідовний, п'ятизначний. Позиція класифікатора має блок ідентифікації та блок назви класифікаційного угруповання. Кодування НС на нижчому класифікаційному рівні (група) виконано за фасетною схемою, у якій фасети також структуровані. Це забезпечує усталеність структури класифікатора в процесі його ведення, оскільки оперативні зміни об'єктів класифікації відбуваються на цьому рівні.

Висновки до розділу

1. Відповідно до результатів досліджень, аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показує, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови “дерева відмов” та помилок оператора людиномашинних систем у автотранспортних перевезеннях.

2. Небезпека надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невпинно зростає, тому питання захисту цивільного населення від надзвичайних ситуацій на сьогодні є дуже важливе.

5 ШЛЯХИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ

5.1 Шляхи практичного використання результатів

Основні напрямки реалізації результатів дослідження представлені на рис. 5.1.



Рисунок 5.1 – Шляхи практичного використання результатів дослідження

За результатами проведеного дослідження, було розроблено методику диференційованого коригування лінійних норм витрати палива з урахуванням зміни коефіцієнта опору коченню залежно від різних рівнів пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації, що дозволяє знизити витрату палива під час експлуатації. Методика впроваджена у навчальному процесі ЛНУП під час підготовки фахівців автомобільного транспорту.

Методика диференційованого коригування лінійних норм витрати палива, що враховує пристосованість автомобільних шин до негативних температур навколишнього повітря за витратою палива, включає:

- визначення рівня пристосованості автомобільних шин до негативних

температур навколишнього повітря за витратою палива;

- визначення диференційованого коефіцієнта, що коригує величину зміни норми витрати палива автомобіля, що експлуатується в негативному діапазоні температур навколишнього повітря, з шинами певного рівня пристосованості.

Визначення диференційованого коефіцієнта, що коригує величину нормованого значення витрати палива, ґрунтується на визначенні коефіцієнта пристосованості автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації. Величина коефіцієнта пристосованості обумовлює величину диференційованого коефіцієнта, що коригує величину нормованого значення витрати палива автомобілів.

Першим етапом у визначенні коефіцієнта є визначення характеристик автомобільної шини на підставі аналізу маркування, а також умов експлуатації автомобільних шин даного типу.

На другому етапі здійснюється перерахунок значення апостеріорної ймовірності приналежності шин до одного з рівнів пристосованості.

Використовуючи математичну модель зміни витрати палива автомобіля, що експлуатується за негативних температур навколишнього повітря та фактичної температури повітря, що характеризує умови експлуатації автомобіля, визначають чисельне значення коефіцієнта пристосованості.

5.2 Розрахунок нормованого значення витрати палива автомобілів, що експлуатуються в негативному діапазоні температур навколишнього повітря, з урахуванням коригувального диференційованого коефіцієнта

Методика диференційованого коригування лінійних норм витрати палива враховує пристосованість автомобільних шин до негативних температур навколишнього повітря за витратою палива, ґрунтується на даних Методичних рекомендацій “Норми витрати палив та мастильних матеріалів на авто-

мобільному транспорті”.

Залежно від кліматичних районів країни, у зимовий час лінійні норми витрати палива на автомобілі збільшуються від 5 до 20 %.

Для легкових автомобілів нормативне значення витрати пального розраховується за такою формулою:

$$Q_n = 0,01 \cdot H_s \cdot S(1 + 0,01 \cdot D), \quad (5.1)$$

де Q_n – нормативна витрата палива, л;

H_s – базова норма витрати палива на пробіг автомобіля, л/100 км;

S – пробіг автомобіля, км;

D – поправочний коефіцієнт (сумарна відносна надбавка чи зниження) до норми, %.

Як недолік можна відзначити, що діюча система розрахунку нормованого значення витрати палива не враховує пристосованість автомобільних шин до низьких температур навколишнього повітря.

Можливі такі напрями використання результатів дослідження:

- вибір типу шин, найбільш пристосованого для експлуатації в умовах низьких температур за коефіцієнтом опору коченню;
- об'єктивне нормування витрати палива.

У розділі 5.3 розглянуто один із напрямків практичного використання.

5.3 Методика диференційованого коригування витрати пального

Методика диференційованого коригування витрати палива є одним із напрямків практичного використання результатів дослідження.

Об'єктивне нормування витрати палива автомобілем дозволяє запобігати нецільовому використанню палива, виявляти некваліфіковане водіння [26].

Значення диференційованих коефіцієнтів визначаються за формулою:

$$D = (q - H_s) \cdot 100\% / H_s, \quad (5.2)$$

де H_s – норма витрати палива на пробіг автомобіля, л/100 км;

q – об'єктивна витрата палива, що відповідає певному інтервалу складності та певному рівню пристосованості шин, л/100 км.

У 3 розділі були встановлені три рівні пристосованості автомобільних шин до низькотемпературних умов експлуатації за коефіцієнтом опору коченню, у другому розділі було визначено значення інтервалів складності.

На основі аналізу експериментальних даних складено таблицю значень коригувальних коефіцієнтів залежно від рівня пристосованості шин до низькотемпературних умов за коефіцієнтом опору коченню та відповідних інтервалів складності (таблиця 5.1.).

Оскільки для кожного рівня пристосованості заздалегідь визначені диференційовані значення коефіцієнтів коригування стосовно заданої нерівномірності, то віднесення автомобільних шин до того чи іншого рівня пристосованості з використанням формули Байєса відразу дає можливість визначити значення коефіцієнтів без проведення дорогих експериментів.

Таблиця 5.1 – Значення коригувальних коефіцієнтів та середньої витрати палива

Рівень пристосованості шин	Значення коефіцієнта D , % для інтервалів складності $h = 0,1...9R$		
	$h = 0,1...3R$	$h = 3,1...6R$	$h = 6,1...9R$
Високий	2	6	10
Середній	3	9	16
Низький	4	14	24
	Витрата палива а/м Daewoo Lanos		
Високий	10	10,41	10,82
Низький	9,17	10,02	10,87
Середній	9,09	9,66	10,22

5.4 Розрахунок економічної ефективності впровадження результатів дослідження

Діючі рекомендації передбачають збільшення норми під час експлуатації в зимових умовах. Проте, величина надбавки може бути меншою у випадку використання всесезонних шин, що характеризуються середнім рівнем пристосованості в поєднанні з меншим значенням базового коефіцієнта опору коченню в порівнянні з ошипованими зимовими. Таким чином, економічна ефективність A , грн./автомобіль-день, при впровадженні Методики диференційованого коригування для одного автомобіля розраховується за формулою:

$$A = \Delta q \cdot L_{cd} \cdot C \quad (5.3)$$

де Δq – різниця між нормами витрати палива, л/100 км;

L_{cd} – середньодобовий пробіг, км;

C – вартість палива, грн.

Використовуючи залежність 5.3, розрахована різниця між нормами витрати палива під час використання двох варіантів шин: високого та середнього рівнів пристосованості.

Для автомобіля Daewoo Lanos з використанням шин середнього рівня пристосованості, що експлуатуються в помірно складних умовах експлуатації із середньодобовим пробігом 100 км, економічна ефективність становить від 12 до 45 грн./автомобіле-день.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчене науково-практичне завдання підвищення ефективності експлуатації автомобілів у низькотемпературних умовах шляхом об'єктивного нормування витрати палива на основі встановлення закономірностей зміни пристосованості шин до цих умов за коефіцієнтом опору коченню.

2. Встановлено закономірність впливу низьких температур навколишнього повітря на коефіцієнт опору коченню шин, що описується однофакторною математичною моделлю. На основі експериментальних досліджень визначено чисельні значення параметрів встановленої моделі для досліджених автомобільних шин та доведено її адекватність.

3. Визначено інтервали складності низькотемпературних умов експлуатації стосовно шин легкових автомобілів: помірний [0,1...3R], помірно складний [3R...6R], складний [6R...9R] і дуже складний [9R...12R].

4. Залежно від значення коефіцієнта пристосованості шини можуть бути поділені на три рівні пристосованості: високий, середній та низький.

5. Проведено аналіз якісних та кількісних ознак, що використовуються для віднесення шин за рівнями пристосованості до низькотемпературних умов експлуатації. Найбільш інформативними ознаками є категорія використання шини та відсутність шипів.

6. Розроблено методика оцінки пристосованості автомобільних шин до зимових умов експлуатації за коефіцієнтом опору коченню.

7. Запропоновані шляхи практичного використання результатів дослідження та розроблено Методику диференційованого коригування норм витрати палива автомобілями залежно від пристосованості шин до низькотемпературних умов експлуатації. При цьому економічна ефективність від використання отриманих результатів складе від 12 до 45 грн./100 км на один автомобіль для помірно складних умов експлуатації та середнього рівня пристосованості до них шин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бешун О.А., Меланченко Я.В. Аналіз факторів, які впливають на силу і коефіцієнт опору коченню колеса. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. Київ: ВЦ НУБіП, 2018. Вип.298. С.123-131.
2. Біліченко В. В., Підгаєць В. В., Ткаченко М. М. Вплив температури повітря на витрату палива автомобілів. *Наукові нотатки*, 2012. (37), С.27-30.
3. Буренніков Ю.Ю., Добровольський О.Л., Степанов В.В. Математичне моделювання взаємодії автомобільної шини з опорною поверхнею. *Вісник ЖДТУ*. 2012. Серія "Технічні науки". № 1 (60). С. 9–13.
4. Войтович О.А., Ткач В.А. Вплив тиску в шинах на безпеку автотранспорту. *Вісник ХНТУ Херсон*, 2017. №4. С. 33-38.
5. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля : навч. посіб. Харків : ХНАДУ, 2003. 292 с.
6. Грабар І. Г., Опанасюк Є. Г., Можаровський М. М., Бегерський Д. Б. Методологія дослідження процесу взаємодії моделі протектора пневматичної шини з ґрунтом. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*. 2017. (3(38)), С.11–19.
7. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Деркачов О.Б. Неруйнівний тепловий контроль автомобільних шин. Київ: Знання України, Нац. Транспортний університет, 2007. 151 с.
8. Дмитрієв Д.О., Войтович О.А., Русанов С.А., Чурсов С.О. Стендові методи випробування шин автотранспорту. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон: Херсонський національний технічний університет, 2019. №2 (69). С. 39–47.
9. Добровольський О. Л. Дослідження впливу експлуатаційних параметрів шини на вибіг автомобіля. *Вісник ЖДТУ. Серія" Технічні науки"* 2010. №2.2 (53). С. 47-51.
10. ДСТУ 8816:2018 Шини пневматичні для легкових автомобілів та причепів до них. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.10.2019]. Вид. офіц. Київ, 2019. 16 с.
11. Захаров С.В., Кравченко О.П., Сакно О.П. До аналізу надійності автомобільних шин в умовах експлуатації. *Вісник ЖДТУ*. 2010. Серія "Технічні науки". №2 (53). С. 52–57.

12. Карпенко В.О., Воропай О.В., Нескреба Е.Є. Дослідження впливу температури навколишнього середовища та геометричних параметрів автомобільної шини на тривалість стартового руху. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування*: 12-а Міжнародна науково-практична конференція (06-08 вересня 2021 р.) Херсон: Херсонська державна морська академія. 2021. С. 93–96.

13. Ларін О. М. Експериментальне дослідження роботоздатності шини легкового автомобіля. *Методи та прилади контролю якості*. Харківський інститут пожежної безпеки МВС України. 2000. №5. С. 51–55.

14. Ларін О.М., Ларін О.О., Арефін Ю.В. Експериментально-дорожні дослідження впливу внутрішнього тиску в пневматичних шинах на вибіг автомобіля. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*: науково-виробничий збірник АДІ «ДонНТУ». Горлівка, 2011. №2(13). С. 88-91.

15. Лехман С.Д., Рублев В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 267 с.

16. Мандрик Є. В., Гриб К. В. Шляхи вдосконалення експлуатаційних і конструктивних параметрів автомобільних шин. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*. Сер.: Військові та технічні науки. 2013. №2. С. 317-325.

17. Мармут І. А., Кашканов В. А., Зуєв В. О., Експериментальне дослідження опору кочення коліс автомобіля на роликовому стенді, *ВМТ*, 2021. вип. 12, том. 2, С. 68–75.

18. Мармут І. А., Рабінович Е. Х. Експериментальна оцінка аеродинамічного та дорожнього опорів руху автомобіля. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2021. № 23. С. 110-121.

19. Назаренко І. І., Корнійчук Б. В. Методи та умови експлуатації автомобільних коліс. *Теорія і практика будівництва* : наук.-техн. журн. Київ: КНУБА, 2012. Вип. 10. С. 28–30.

20. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Укр. геогр. журн.* 2013. №4. С. 32-39.

21. Петров Б.Б., Красота М.В. Вплив стану шин на безпеку руху. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2023*: зб. тез доповідей

III-ї Міжнародної науково-технічної конференції. Вінниця: ВНТУ. 2023. С. 435–438.

22. Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. Охорона праці на автомобільному транспорті: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2015. 374 с.

23. Ребедайло В.М., Добровольський О.Л. Робота в п'ятні контакту шини при коченні її з розвалом та сходженням. *Автомобільний транспорт*. 2003. № 13. С. 60–63.

24. Сахно В. П., Біліченко В. В., Поляков В. М. Експериментальне дослідження опору кочення колеса, встановленого під кутом до напрямку руху. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №1. С. 102-111.

25. Сахно В.П. Експлуатаційні властивості автомобілів. Київ: Видавництво "КВІЦ", 2006. 235 с.

26. Смільський В. В., Шарибура А. О. Актуальне питання роботи пневматичної шини автомобільного колеса. *Автошляховик України*. 2014. № 3. С.14-17.

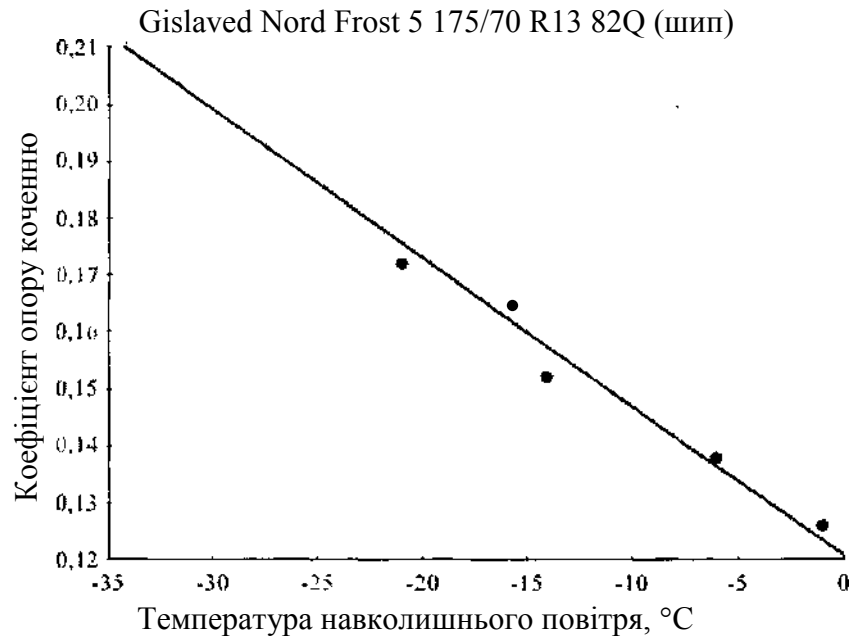
27. Солтус А. П., Клімов Е. С., Пилипенко В. І. Визначення коефіцієнта опору кочення колеса з еластичною шиною по недеформованій поверхні. *Вісник КНУ імені Михайла Остроградського*. 2011. Випуск 2/2011 (67). Частина 1. С. 99–104.

28. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля. Київ: Арістей, 2006. 176 с.

29. Які бувають типи шин: види автомобільних шин та їх характеристика. [Електронний ресурс] <https://shiny-diski.com.ua>. (дата звернення 20.12.2023).

30. Luchini J.R., Motil M.M., Mars W.V. Tire addepth effects on tire rolling resistance. *Tire Science and Technology*. 2001. № 29 (3). Pp. 134–154.

ДОДАТОК А



Розрахункове рівняння: $y = a + b \cdot x$

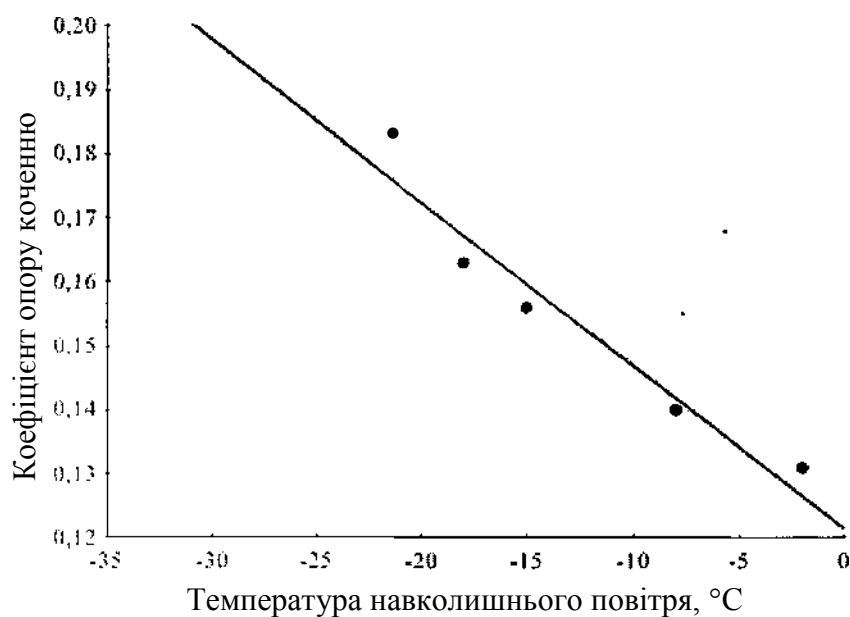
Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	ошипована
Категорія використання	зимова
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	160
Індекс тиску	-
Рівень пристосованості	високий
a	1.208477E-02
b	-2.61088E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,98
Коефіцієнт детермінації	0,97
Середня помилка апроксимації, %	2
Дисперсійне відношення Фішера	21,7
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °С	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-1	65,11	55,63	64,46	55,10	61,38	55,51	63,16	56,43	61,16	56,18	60,66	55,46	61,58	57,39	62,13	57,47	59,43	57,82	60,21	56,68	61,83	56,71	
-6	60,43	55,04	58,47	52,23	58,74	55,04	59,88	52,20	60,31	51,83	60,74	53,79	61,04	51,83	56,45	50,27	57,59	52,45	59,57	56,68	60,55	50,82	
-14	56,71	51,37	56,55	49,31	56,82	51,98	55,14	49,53	56,45	51,50	56,66	49,31	56,75	49,78	56,77	48,44	56,54	47,48	56,24	51,00	55,44	47,86	
-17	51,40	44,13	50,48	45,40	49,26	46,73	50,08	43,80	53,88	44,29	54,13	45,59	53,38	45,31	49,33	45,42	49,82	46,37	52,38	44,18	50,13	44,33	
-21	47,31	40,39	50,02	40,25	50,14	43,59	48,64	44,72	46,87	44,51	48,41	39,83	47,21	40,53	45,82	39,80	45,86	39,24	49,05	40,60	50,50	43,27	

Bridgestone Ice Cruiser 7000 175/70 R13 82T (шип)



Розрахункове рівняння: $y = a + b \cdot x$

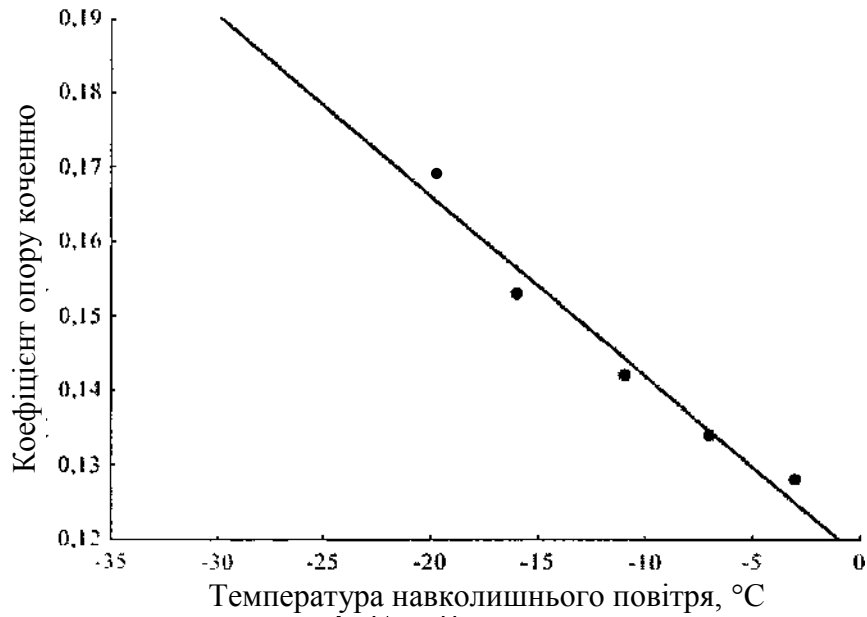
Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	ошипована
Категорія використання	зимова
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	190
Індекс тиску	-
Рівень пристосованості	високий
a	1.214278E-02
b	-2.548709E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,98
Коефіцієнт детермінації	0,96
Середня помилка апроксимації, %	2
Дисперсійне відношення Фішера	13,77
Рівень адекватності	0,9

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-2	60,78	57,86	58,49	56,68	60,68	55,02	60,31	57,74	59,65	55,16	60,90	52,09	61,09	54,98	59,19	57,70	57,99	57,72	58,41	57,09	58,47	56,28	
-8	56,25	54,10	57,32	53,34	61,40	52,92	57,42	54,88	56,69	54,83	59,51	53,08	57,29	50,50	58,55	52,03	58,28	50,14	59,82	53,13	60,49	51,53	
-15	58,00	49,40	58,21	49,91	54,42	48,60	58,16	47,30	56,75	50,86	54,44	51,13	52,44	48,43	53,92	49,31	52,54	48,78	53,37	49,13	52,71	51,54	
-18	51,89	47,87	52,56	49,78	55,92	47,96	54,90	47,73	51,05	48,41	52,26	45,98	54,57	45,31	56,38	45,88	55,89	46,88	56,42	49,22	54,71	47,37	
-22	48,38	43,15	50,91	44,45	46,30	43,24	49,66	45,61	48,38	41,01	46,98	44,30	49,41	43,47	46,30	41,90	47,91	42,55	50,20	43,69	46,25	42,18	

Continental IceContact 2 155/70 R13 75T (шип)



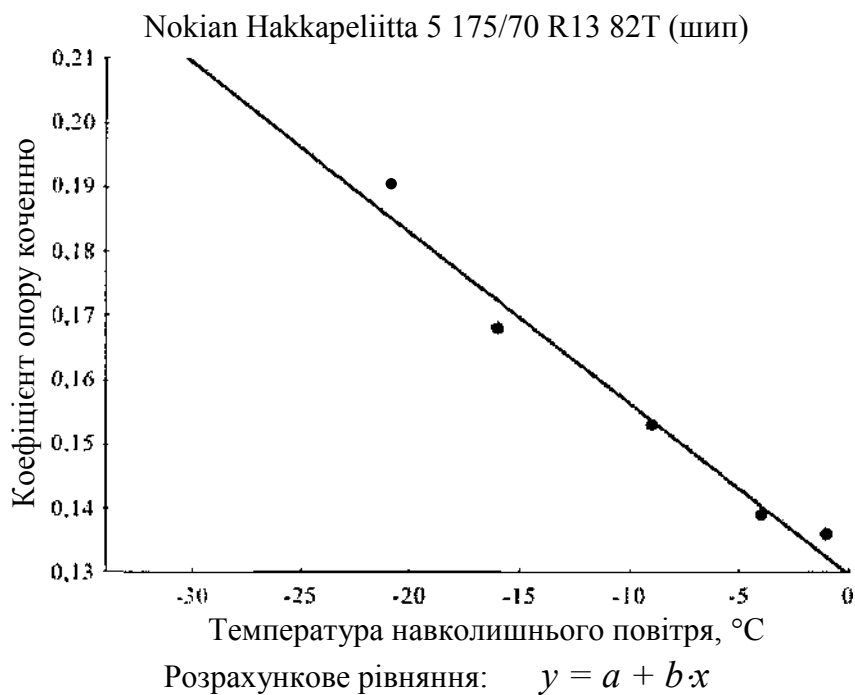
Розрахункове рівняння: $y = a + b \cdot x$

Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	ошипована
Категорія використання	зимова
Індекс несучої здатності	75
Індекс швидкості	190
Індекс тиску	44
Рівень пристосованості	високий
a	1.175322E-02
b	-2.431788E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,98
Коефіцієнт детермінації	0,97
Середня помилка апроксимації, %	1,61
Дисперсійне відношення Фішера	25,87
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-3	62,41	55,72	61,45	57,70	62,70	57,40	63,25	55,46	62,34	56,10	64,62	53,30	60,64	55,58	58,87	56,04	59,96	53,64	62,59	54,54	68,19	53,87	
-7	61,53	52,45	62,48	56,17	60,67	55,11	58,86	57,10	61,08	52,13	57,64	55,11	63,09	52,71	58,26	54,39	60,70	53,33	58,61	53,03	58,95	53,43	
-11	59,00	54,46	57,78	54,40	58,28	51,68	58,52	52,61	58,17	51,87	55,37	53,88	55,29	55,20	60,02	50,96	58,78	49,49	57,02	51,35	58,16	53,10	
-16	54,56	50,56	55,56	49,38	56,31	49,04	54,44	51,89	55,42	50,32	54,15	49,63	58,32	49,83	54,85	49,57	57,16	52,82	53,55	50,13	54,88	50,41	
-20	52,65	46,34	49,67	45,69	53,13	47,16	49,34	42,85	49,53	43,21	50,36	43,34	49,93	47,54	50,80	43,93	51,04	44,88	51,94	45,99	49,60	46,86	

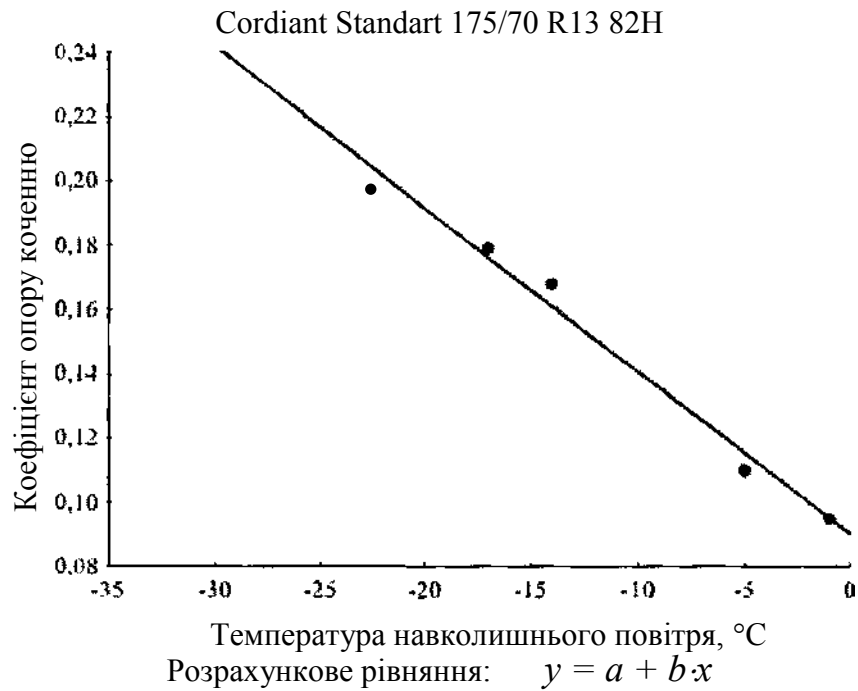


Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	ошипована
Категорія використання	зимова
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	190
Індекс тиску	47
Рівень пристосованості	високий
a	1.297249E-02
b	-2.66165E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,98
Середня помилка апроксимації, %	1,5
Дисперсійне відношення Фішера	40,16
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-1	58,24	53,48	61,79	53,63	56,97	53,04	59,67	55,74	60,35	55,30	60,94	53,46	60,50	53,29	60,41	51,30	59,05	53,19	57,33	52,31	61,37	54,70	
-4	61,51	50,69	58,55	52,58	59,97	51,67	57,81	52,50	61,57	55,55	56,69	52,63	56,22	53,47	60,17	54,70	56,47	54,56	59,90	51,41	60,33	51,97	
-9	55,93	49,48	53,93	48,05	56,13	49,32	55,65	48,23	53,59	49,48	57,21	51,79	58,29	51,05	55,64	48,43	58,78	47,73	56,21	50,54	56,18	51,06	
-16	54,30	45,40	54,37	46,00	50,43	49,62	49,95	46,06	51,66	47,75	55,44	48,80	52,20	48,90	53,19	47,70	53,96	45,16	53,40	45,94	52,43	45,99	
-21	47,40	39,39	45,39	38,23	47,94	39,42	47,70	39,32	48,87	38,79	47,08	39,94	49,06	40,36	48,81	41,69	49,19	39,39	47,53	39,94	46,53	39,35	

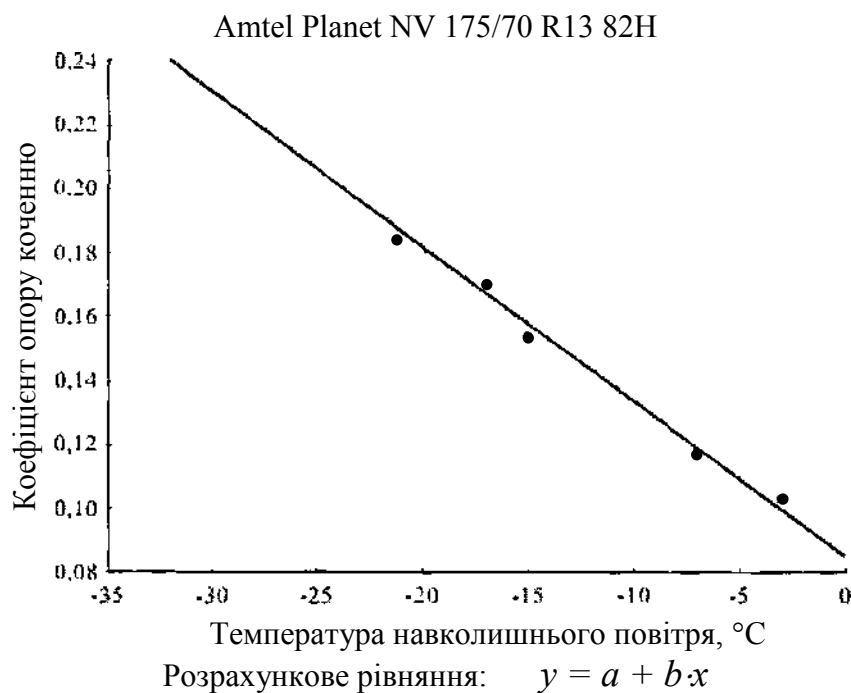


Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	неошипована
Категорія використання	дорожня
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	210
Індекс тиску	-
Рівень пристосованості	низький
a	9.014891E-03
b	-5.064476E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,99
Середня помилка апроксимації, %	2
Дисперсійне відношення Фішера	60,95
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-1	69,07	66,82	71,97	65,0	71,94	64,44	74,69	65,96	71,12	64,31	71,05	68,32	73,77	64,35	71,87	65,18	73,25	67,18	72,29	63,32	70,67	66,23	
-5	66,12	61,26	68,60	59,44	67,17	60,96	69,56	62,09	68,69	58,80	68,21	62,03	66,69	58,87	64,74	57,74	66,84	61,64	65,11	58,11	69,31	59,03	
-14	53,08	45,83	55,54	48,46	50,26	49,39	53,17	49,26	52,61	45,55	55,07	44,65	50,44	46,75	51,52	45,62	53,78	46,26	53,41	45,21	54,02	48,39	
-17	53,66	42,55	53,89	42,38	53,42	43,56	51,46	45,68	53,89	44,63	52,05	45,75	53,44	42,00	50,37	43,23	53,43	43,26	52,74	41,36	50,29	42,83	
-22	45,76	40,26	41,93	38,87	44,60	36,80	44,50	38,54	43,34	39,74	42,69	35,10	43,33	34,68	43,58	34,38	42,93	36,17	43,38	37,82	45,15	34,67	

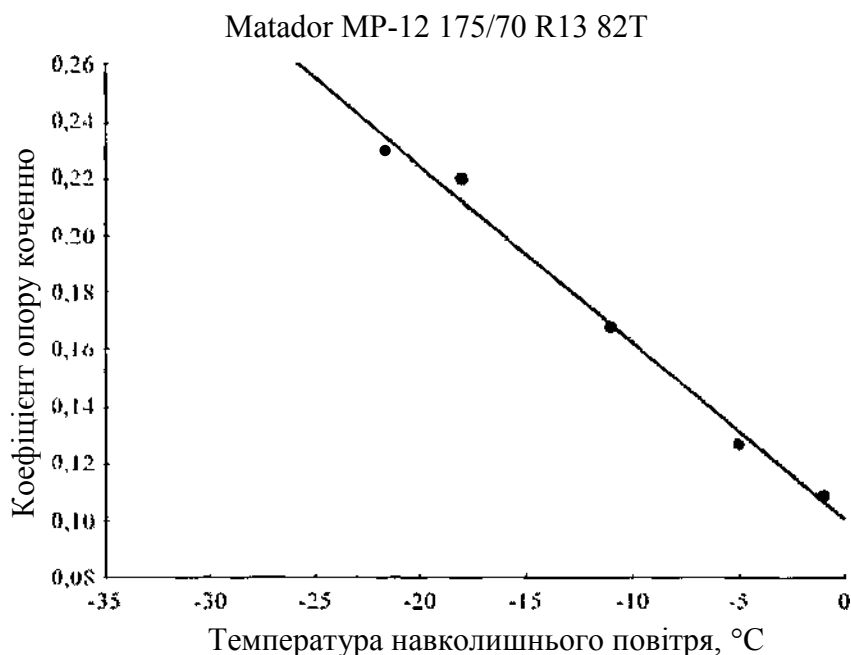


Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	нешипована
Категорія використання	дорожня
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	210
Індекс тиску	47
Рівень пристосованості	низький
a	8.507427E-03
b	-4.857927E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,99
Середня помилка апроксимації, %	1,7
Дисперсійне відношення Фішера	125,4
Рівень адекватності	0,99

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-3	70,91	62,23	69,46	61,43	68,85	65,52	70,89	60,02	69,28	62,49	66,77	60,25	70,72	63,84	70,25	64,88	67,53	61,90	69,46	62,50	71,43	60,54	
-7	64,46	59,89	63,38	59,22	63,97	59,47	65,11	59,26	62,16	56,19	66,21	58,35	63,98	57,98	65,02	58,82	64,25	58,98	63,60	58,96	62,28	58,07	
-15	56,78	46,14	57,77	47,19	56,74	47,07	56,38	46,68	56,72	46,62	55,47	50,69	58,09	48,78	55,10	49,95	57,64	50,83	57,05	50,56	57,53	48,45	
-17	52,72	41,98	53,52	44,63	50,04	47,12	49,48	43,72	48,96	41,84	52,87	46,43	53,24	46,12	49,47	45,48	53,32	42,03	49,85	42,95	51,65	40,99	
-22	46,82	37,96	44,46	36,07	46,49	35,53	47,00	37,25	45,02	39,07	45,23	38,52	45,28	38,09	46,73	36,96	45,78	34,88	44,19	34,59	45,84	40,28	



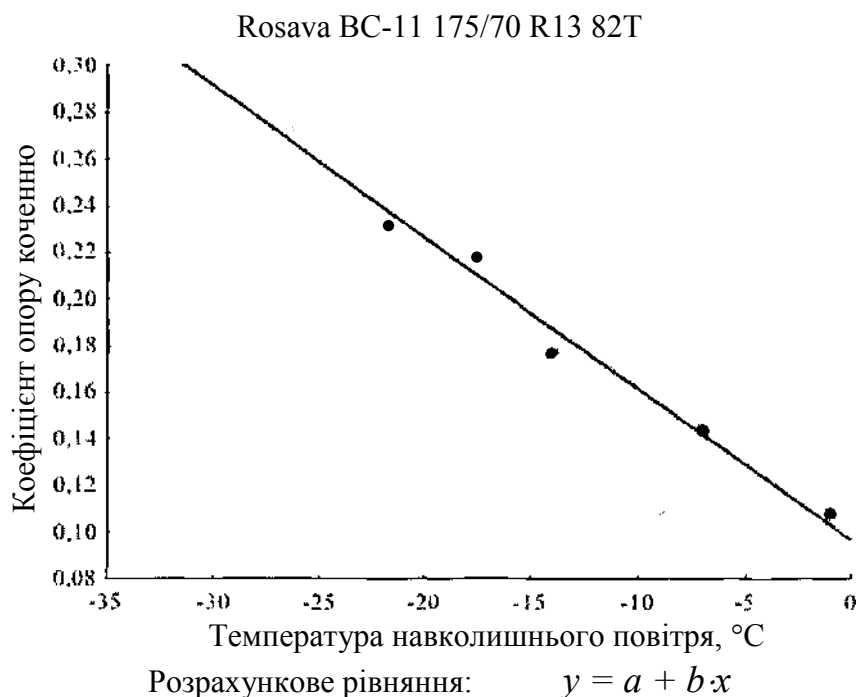
Розрахункове рівняння: $y = a + b \cdot x$

Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	неошипована
Категорія використання	дорожня
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	190
Індекс тиску	-
Рівень пристосованості	низький
a	0.0100734
b	-6.188832E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,99
Середня помилка апроксимації, %	2
Дисперсійне відношення Фішера	66,8
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-1	69,02	61,60	66,99	63,66	68,87	59,83	65,33	58,37	64,74	58,03	64,67	58,77	67,76	61,24	68,61	63,08	68,01	61,05	68,64	63,01	68,11	59,31	
-5	57,70	54,78	60,50	52,75	60,46	51,80	62,35	50,80	56,89	54,32	61,58	50,98	59,04	56,12	61,99	52,89	57,58	52,08	62,12	54,18	56,96	53,22	
-11	54,12	45,20	54,29	49,39	50,41	47,07	50,73	45,81	55,25	44,50	52,81	48,69	54,37	49,26	52,99	45,76	55,93	44,92	51,18	45,22	51,31	48,54	
-18	43,20	36,90	44,85	41,03	45,25	35,95	43,68	39,35	46,42	40,76	47,30	36,20	44,82	36,61	45,88	36,35	46,94	37,28	47,10	38,55	46,06	40,76	
-22	38,91	35,10	41,83	34,74	42,32	38,09	43,15	38,32	39,29	32,58	40,39	36,18	41,51	36,03	40,01	34,23	40,91	36,17	42,92	34,33	43,82	32,82	

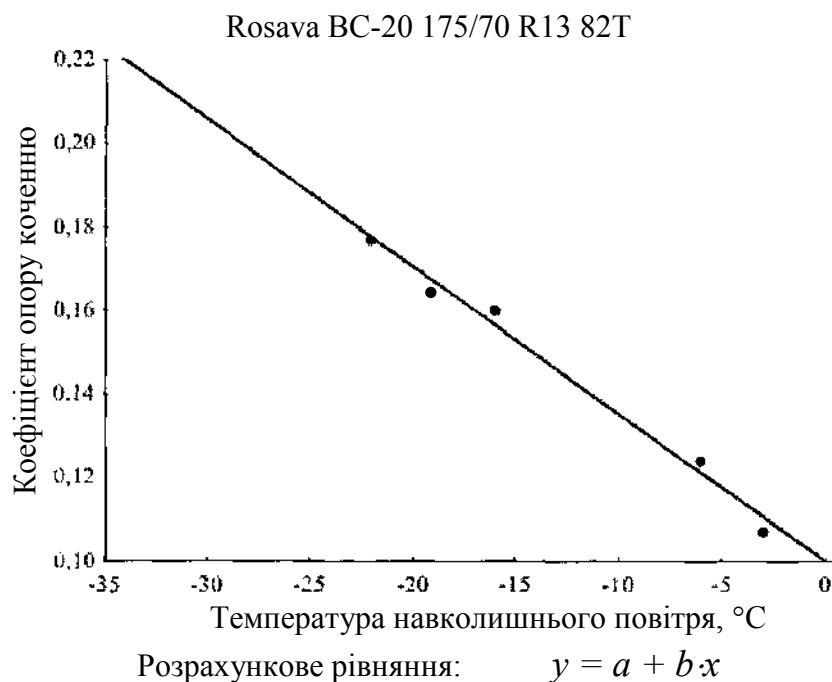


Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	неошипована
Категорія використання	дорожня
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	190
Індекс тиску	36
Рівень пристосованості	низький
a	9.686122E-03
b	-6.488317E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,98
Середня помилка апроксимації, %	3
Дисперсійне відношення Фішера	38,55
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-1	70,30	61,87	68,76	62,34	66,35	58,43	68,79	59,41	69,27	63,54	66,51	59,36	68,08	59,38	69,64	58,48	67,27	58,45	68,24	59,74	70,11	60,91	
-7	56,51	51,35	55,68	53,46	59,31	54,06	57,74	49,56	55,46	54,05	57,19	50,56	58,57	54,20	57,16	50,71	59,49	53,32	55,42	54,73	56,61	50,26	
-14	52,37	44,57	48,36	45,31	51,07	45,64	51,98	47,54	48,50	44,93	54,04	44,14	51,99	42,62	51,47	46,34	50,98	44,42	51,91	46,01	52,50	46,76	
-17	46,78	34,98	45,44	38,22	46,78	36,67	45,13	35,24	43,36	40,50	43,66	36,27	44,39	36,52	44,08	37,01	43,14	36,10	43,03	37,89	43,20	40,37	
-22	37,31	34,68	37,51	33,13	41,74	30,18	40,32	33,21	41,11	33,99	37,83	35,10	37,31	31,66	40,48	31,37	39,11	32,45	40,45	30,25	40,84	33,25	

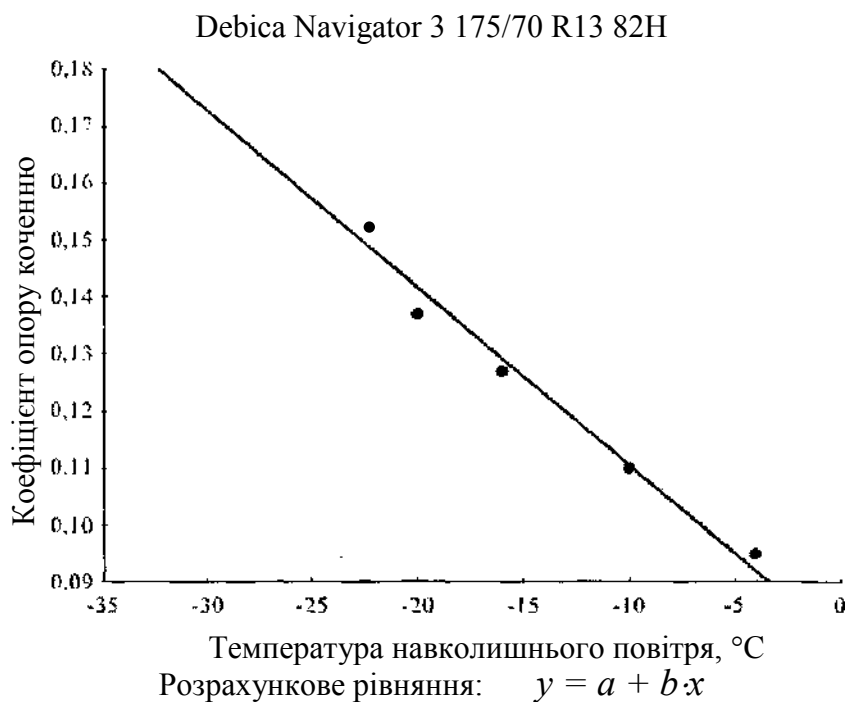


Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	неошипована
Категорія використання	всесезонна
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	190
Індекс тиску	35
Рівень пристосованості	середній
a	1.002319E-02
b	-3.524215E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,99
Середня помилка апроксимації, %	1,7
Дисперсійне відношення Фішера	83,03
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °С	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-3	69,62	62,36	69,34	62,85	67,13	59,85	70,61	60,66	68,69	63,29	66,13	60,20	67,21	59,46	66,63	63,73	68,69	58,78	67,72	62,23	68,93	58,95	
-6	65,98	53,97	63,07	57,01	61,97	59,29	62,07	54,75	64,56	54,51	65,39	54,21	64,52	54,80	64,40	54,74	65,93	55,95	62,57	54,63	65,21	53,64	
-16	54,97	45,70	55,73	46,03	57,22	48,48	54,14	50,39	53,57	49,17	54,82	49,13	53,30	45,93	54,15	46,26	54,91	48,93	54,37	50,07	54,79	46,30	
-18	53,87	42,72	48,92	44,19	52,54	48,27	49,58	45,18	52,27	45,78	53,70	42,86	53,99	46,16	50,18	43,11	51,67	47,47	48,75	47,05	49,29	45,82	
-22	45,04	39,17	48,28	43,34	49,50	40,29	49,59	43,25	47,23	39,17	49,65	39,93	48,13	39,62	47,42	40,66	48,85	39,89	49,84	40,35	48,20	42,66	



Чисельні значення параметрів та статистичних характеристик

Параметри, статистичні характеристики	Значення показників
Ошипованість	неошипована
Категорія використання	всесезонна
Індекс несучої здатності	82
Індекс швидкості	210
Індекс тиску	36
Рівень пристосованості	середній
a	7.960724E-03
b	-3.103426E-04
Коефіцієнт кореляції	-0,99
Коефіцієнт детермінації	0,98
Середня помилка апроксимації, %	2
Дисперсійне відношення Фішера	26,93
Рівень адекватності	0,95

Час вибігу

Температура навколишнього повітря, °C	Час вибігу, с																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-4	74,42	66,19	71,26	65,58	73,58	64,26	72,02	64,61	72,21	66,51	73,92	64,97	70,87	65,49	72,92	67,54	70,90	67,82	69,48	65,16	69,51	63,10	
-10	67,11	62,68	67,19	58,49	67,08	63,09	65,24	60,73	68,62	62,80	66,52	60,66	65,55	59,27	66,00	60,14	65,23	60,98	69,06	60,63	64,78	60,15	
-16	61,68	55,90	58,89	54,30	60,99	54,06	61,23	58,59	59,74	55,70	64,80	53,18	64,45	57,01	62,07	54,66	65,05	53,53	64,49	56,24	64,39	54,54	
-20	60,54	54,87	60,40	54,67	58,97	53,74	58,07	56,08	61,40	53,42	60,58	54,14	58,18	50,83	58,97	50,91	61,50	52,67	59,73	52,13	57,22	51,98	
-22	54,23	49,88	50,97	45,90	54,91	46,43	55,19	47,06	50,26	46,97	55,36	49,54	55,07	41,98	53,81	42,96	55,46	45,93	51,30	44,42	55,87	44,77	